

10/584820

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局(43) 国際公開日
2006年1月12日 (12.01.2006)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2006/004031 A1

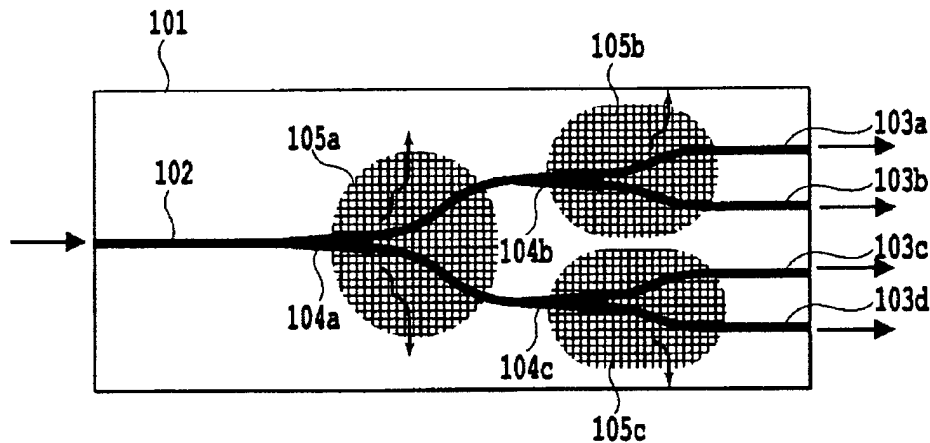
- (51) 国際特許分類⁷: G02B 6/122, 6/26
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2005/012186
- (22) 国際出願日: 2005年7月1日 (01.07.2005)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願2004-197313 2004年7月2日 (02.07.2004) JP
特願2004-317092
2004年10月29日 (29.10.2004) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町二丁目3番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 鬼頭 勤 (KITOH, Tsutomu) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁

目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 坂巻 陽平 (SAKAMAKI, Yohei) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 橋本 俊和 (HASHIMOTO, Toshikazu) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 才田 隆志 (SAIDA, Takashi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 高橋 浩 (TAKAHASHI, Hiroshi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 柳澤 雅弘 (YANAGISAWA, Masahiro) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 小川 育生 (OGAWA, Ikuo) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 柴田 知尋 (SHIBATA, Tomohiro) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP). 鈴木 扇太 (SUZUKI, Senichi) [JP/JP]; 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-11 NTT知的財産センタ内 Tokyo (JP).

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FUNCTIONAL CIRCUIT

(54) 発明の名称: 光機能回路



(57) Abstract: An optical functional circuit enabled to have excellent circuit characteristics of a low transmission loss and small crosstalk by applying a holographic wave transmission medium. The optical functional circuit has a plurality of circuit elements formed on a substrate and is provided with a wave transmission medium for changing the optical path of a leakage light, which is not emitted from a predetermined output port of the circuit elements, so that the leakage light may not be coupled to another circuit element. This wave transmission medium is configured of an optical waveguide, which is composed of a cladding layer formed on the substrate and a core buried in the cladding layer, and the optical waveguide is partially formed to have a refractive index distribution for multiple scatterings.

(57) 要約: ホログラフィック波動伝達媒体を適用し、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を提供する。基板上に複数の回路要素が形成された光機能回路は、回路要素の所定の出力ポートから出射されない漏洩光が、他の回路要素と結合しないように、漏洩光の光路を変換する波動伝達媒体を備えた。この波動伝達媒体は、基板上に形成されたクラッド層と、クラッド層に埋設されたコアとからなる光導波路により構成され、光導波路の一部が多重散乱する屈折率分布により形成されている。

WO 2006/004031 A1



(74) 代理人: 谷 義一 (TANI, Yoshikazu); 〒1070052 東京都
港区赤坂 2 丁目 6 - 2 O Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護
が可能): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG,
BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,
DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR,
HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK,
LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT,
TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可
能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD,

SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY,
KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG,
CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE,
IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR),
OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML,
MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される
各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語
のガイダンスノート」を参照。

明 細 書

光機能回路

技術分野

- [0001] 本発明は、光機能回路に関し、より詳細には、2次元的な屈折率分布に応じた多重散乱によりホログラフィックに波動を伝達させるホログラフィック波動伝達媒体を用いた光機能回路に関する。

背景技術

- [0002] 光通信分野においては、光の分岐、干渉を容易に実現できる光回路として、光導波路構造を利用した集積光部品が開発されてきた。光の波動としての性質を利用した集積光部品は、光導波路長の調整により光干渉計の作製を容易にしたり、半導体分野における回路加工技術を適用することにより、光部品の集積化が容易になる。
- [0003] このような光導波路構造は、光導波路中を伝搬する光を屈折率の空間的分布を利用して空間的な光閉じ込めを実現する「光閉じ込め構造」である。光回路を構成するためには、光配線などを用いて、各構成要素を縦列的に接続することとなる。このため、光導波路回路の光路長は、光回路内で干渉現象などを生じさせるために求められる光路長よりも長くならざるを得ず、その結果、光回路そのものが極めて大型になってしまうという問題があった。
- [0004] たとえば、典型的なアレイ導波路格子を例にとると、入力ポートから入力された複数の波長(λ)の光は、スラブ導波路を有するスターカプラにより分波・合波を繰り返し、分波された光が出力ポートから出力されるが、波長の千分の1程度の分解能で光を分波するために要する光路長は、導波路を伝搬する光の波長の数万倍となる。また、光回路の導波路パターンニングをはじめとして、偏光状態に依存する回路特性を補正するための波長板などを設けるための加工も施す必要がある。(例えば、非特許文献1参照)。
- [0005] また、光回路の小型化のためには、光を導波路中に強く閉じ込める必要がある。従って、光導波路は、極めて大きな屈折率差を有する必要がある。例えば、従来のステップインデックス型の光導波路では、比屈折率差が0.1%よりも大きな値となるように

、屈折率の空間的分布を有するように光導波路を設計する。このような大きな屈折率差を利用して光閉じ込めを行うと、回路構成の自由度が制限されてしまう。特に、光導波路中での屈折率差を、局所的な紫外線照射、熱光学効果または電気光学効果などにより実現しようとしても、得られる屈折率の変化量は高々0.1%程度である。

[0006] さらに、光の伝搬方向を変化させる場合に、光導波路の光路を小さい曲率で曲げると、伝搬する光が、光導波路から漏れ出してしまい、透過損失が大きくなるなど、回路特性が劣化する。従って、光の伝搬方向を変化させるには、光導波路の光路にそって徐々に向きを変化させざるを得ず、光回路長は必然的に極めて長いものとなり、その結果として光回路の小型化が困難になる。

[0007] そこで、従来の光導波路回路、ホログラフィック回路を用いた光回路よりも小型で、緩やかな屈折率分布、すなわち小さな屈折率差でも十分に高効率の光信号制御を可能とする波動伝達媒体を用いることにより、高効率で小型の光回路を実現する。

[0008] しかしながら、波動伝達媒体は、仮想的なメッシュにより画定される仮想的なピクセルの各々が有する屈折率により、光信号を多重散乱させながら、入力ポートから出力ポートに伝播させる。従って、メッシュ状のピクセルを作製する際の作製誤差により、伝播光の漏洩が生じる。これにより、出力ポートに出力される伝搬光と、同一波長の漏洩した伝播光とが干渉を生じたり、波長が異なり干渉を生じない場合にもクロストークが発生する。

[0009] また、波動伝達媒体は、干渉の効果を用いて伝播させるので、光路に大きな角度を持たせることができず、クロストークも大きい。干渉の効果は、入射する光の角度により異なるため、斜めに入射する成分の割合が高いことは、クロストークを劣化させる一因となる。特に、入出力ポート近傍の光のビーム径が小さい領域では、光の進行方向に対して斜めに入射する成分の割合が大きいので、クロストークを劣化させる。このようなクロストークの劣化により光回路の透過損失が大きくなるなど、回路特性が劣化するという問題があった。

[0010] さらに、波動伝達媒体における入力ポート付近と出力ポート付近のメッシュ状のピクセルは、一種のレンズとして機能し、集光することができる。しかし、メッシュ状のピクセルのため、集光位置の判別が困難であり、他の光素子との接続が難しいという問題

があった。

- [0011] 非特許文献1:Y. Hibino, "Passive optical devices for photonic networks", IEIC Trans. Commun., Vol.E83-B No.10, (2000).

発明の開示

- [0012] 本発明の第1の目的は、ホログラフィック波動伝達媒体を適用し、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を提供することにある。また、第2の目的は、ホログラフィック波動伝達媒体を適用した光導波路デバイスの接続を容易にして、透過損失、クロストークが小さい光機能回路を提供することにある。
- [0013] このような目的を達成するために、基板上に複数の回路要素が形成された光機能回路は、回路要素の所定の出力ポートから出射されない漏洩光が、他の回路要素と結合しないように、漏洩光の光路を変換する波動伝達媒体を備えた。この波動伝達媒体は、基板上に形成されたクラッド層と、クラッド層に埋設されたコアとからなる光導波路により構成され、光導波路の一部が多重散乱する屈折率分布により形成されている。
- [0014] また、波動伝達媒体を含む光機能回路にあつては、波動伝達媒体に画定された入力ポートから入射された光信号のうち、波動伝達媒体に画定された所定の出力ポートから出射されない迷光が、他の出力ポートに結合されないように、入力ポートの光軸と所定の出力ポートの光軸とは、互いに一致しないように配置されている。
- [0015] さらに、基板上に、波動伝達媒体に画定された入出力ポートを規定する調芯用のマーカを形成する。入出力ポートと光学的に結合される光学部品を有する部材に形成された、光学部品の集光位置を規定する調芯用のマーカと、ポートを規定する調芯用のマーカとの位置合わせによりポートと光学部品とを光学的に結合させる。
- [0016] さらにまた、基板上に、波動伝達媒体に画定された入出力ポートを規定するモニタ用導波路を、入力ポートが形成された端面から出力ポートが形成された端面まで形成する。入出力ポートと光学的に結合される光学部品を有する部材に形成された、光学部品の集光位置を規定する調芯用の光ファイバと、モニタ用導波路との位置合わせにより入出力ポートと光学部品とを光学的に結合させる。

図面の簡単な説明

- [0017] [図1A]図1Aは、波動伝達媒体の基本構造を説明するための図、
[図1B]図1Bは、波動伝達媒体の基本構造を説明するための図、
[図1C]図1Cは、波動伝達媒体の基本構造を説明するための図、
[図2]図2は、波動伝達媒体の空間的な屈折率分布を決定するための計算手順を示すフローチャート、
[図3]図3は、本発明の一実施形態にかかる光合分波回路を示す図、
[図4]図4は、光合分波回路の透過スペクトルを示す図、
[図5]図5は、光分岐回路における漏洩光の除去方法を示す図、
[図6]図6は、実施例1にかかる漏洩光の除去方法を適用した光分岐回路の挿入損失を示す図、
[図7]図7は、MZ型波長合分波回路における漏洩光の除去方法を示す図、
[図8A]図8Aは、迷光ガイドが無いMZ型波長合分波回路の透過スペクトルを示す図、
[図8B]図8Bは、実施例2にかかる漏洩光の除去方法を適用したMZ型波長合分波回路の透過スペクトルを示す図、
[図9]図9は、本発明の実施例3にかかる迷光の除去方法を示す図、
[図10]図10は、実施例3にかかる光合分波回路の透過スペクトルを示す図、
[図11]図11は、本発明の実施例4にかかる迷光の除去方法を示す図、
[図12]図12は、本発明の実施例5にかかる迷光の除去方法を示す図、
[図13]図13は、本発明の実施例6にかかる迷光の除去方法を示す図、
[図14]図14は、本発明の実施例7にかかる迷光の除去方法を示す図、
[図15]図15は、本発明の実施例8にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
[図16]図16は、本発明の実施例9にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
[図17]図17は、本発明の実施例10にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、
[図18]図18は、本発明の実施例11にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイス

の構成を示す図、

[図19]図19は、本発明の実施例12にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、

[図20]図20は、本発明の実施例13にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、

[図21]図21は、本発明の実施例14にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す図、

[図22]図22は、本発明の実施例15にかかる光回線終端装置の構成を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

[0018] 以下、図面を参照しながら本発明の実施形態について詳細に説明する。本実施形態の光機能回路は、複数の散乱点により画定されるホログラフィック波動伝達媒体であり、2次元的な屈折率分布に応じた多重散乱によりホログラフィックに波動を伝達させる。

[0019] 最初に、本願発明に用いる波動伝達媒体の基本的概念について説明する。ここでは、光回路へ適用することから、波動伝達媒体中を伝搬する「波動」は「光」である。なお、波動伝達媒体にかかる理論は、一般の波動方程式に基づいて、媒質の特性を指定するものであり、一般の波動においても原理的に成り立ち得るものである。波動伝達媒体は、コヒーレントな光のパターンを入力して所望の光のパターンを出力させるために、波動伝達媒体中を伝搬する順伝搬光と逆伝搬光の位相差が、波動伝達媒体中の何れの場所においても小さくなるように屈折率分布が決定される。屈折率分布に応じた局所的なレベルのホログラフィック制御を多重に繰り返すことにより、所望の光のパターンが出力される。

[0020] 図1A～Cを参照して、本実施形態にかかる波動伝達媒体の基本構造を説明する。図1Aに示したように、光回路基板1の中に、波動伝達媒体により構成される光回路の設計領域1-1が存在する。光回路の一方の端面は、入力光INが入射する入射面2-1である。入力光INは、波動伝達媒体で構成された空間的な屈折率分布を有する光回路中を多重散乱しながら伝搬し、他方の端面である出射面2-2から出力

光OUTとして出力される。図1A中の座標 z は、光の伝搬方向の座標($z=0$ が入射面、 $z=z_0$ が出射面)であり、座標 x は、光の伝搬方向に対する横方向の座標である。なお、本実施形態では、波動伝達媒体は、誘電体からなるものと仮定し、空間的な屈折率分布は、波動伝達媒体を構成している誘電体の局所的な屈折率を後述する理論に基づいて設定することにより実現される。

[0021] 入力光INが形成している「場」(入力フィールド)は、光回路を構成する波動伝達媒体の屈折率の空間的分布に応じて変調され、出力光OUTの形成する「場」(出力フィールド)に変換される。換言すれば、本発明の波動伝達媒体は、その空間的な屈折率分布に応じて入力フィールドと出力フィールドとを相関づけるための(電磁)フィールド変換手段である。なお、これら入力フィールドおよび出力フィールドに対して、光回路中での伝搬方向(図中 z 軸方向)に垂直な断面(図中 x 軸に沿う断面)における光のフィールドを、その場所(x, z)における(順)伝搬像(伝搬フィールドあるいは伝搬光)と呼ぶ(図1B参照)。

[0022] ここで、「フィールド」とは、一般に電磁場(電磁界)または電磁場のベクトルポテンシャル場を意味している。本実施形態における電磁場の制御は、光回路中に設けられた空間的な屈折率分布、すなわち誘電率の分布を変えることに相当する。誘電率はテンソルとして与えられるが、通常は偏光状態間の遷移はそれほど大きくないので、電磁場の1成分のみを対象としてスカラー波近似しても良い近似となる。そこで、本明細書では電磁場を複素スカラー波として扱う。なお、光の「状態」には、エネルギー状態(波長)と偏光状態とがあるため、「フィールド」を光の状態を表現するものとして用いる場合には、光の波長と偏光状態をも包含し得ることとなる。

[0023] また、通常、伝搬光の増幅や減衰を生じさせない光回路では、屈折率の空間的分布を決めると、焦点以外を入力光INの像(入力フィールド)は、出力光OUTの像(出力フィールド)に対して一意的に定まる。このような、出射面2-2側から入射面2-1側へと向かう光のフィールドを、逆伝搬像(逆伝搬フィールドあるいは逆伝搬光)と呼ぶ(図1C参照)。このような逆伝搬像は、光回路中の場所ごとに定義することができる。すなわち、光回路中での任意の場所における光のフィールドを考えたとき、その場所を仮想的な「入力光」の出射点として考えれば、上記と同様に出力光OUTの像に

対して、その場所での逆伝搬像を考えることができる。このように、光回路中の各場所ごとに逆伝搬像が定義できる。

[0024] 特に、単一の光回路において、出射フィールドが入射フィールドの伝搬フィールドとなっている場合には、光回路の任意の点で、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとは一致する。なお、フィールドは、一般的に、対象とする空間全体の上の関数であるが、「入射フィールド」または「出射フィールド」という場合は、入射面あるいは出射面におけるフィールドの断面を意味している。また、「フィールド分布」という場合でも、ある特定の断面に関して議論を行う場合には、その断面についてのフィールドの断面を意味している。

[0025] 屈折率分布の決定方法を説明するためには記号を用いるほうが見通しがよいので、各量を表すために以下のような記号を用いることとする。なお、対象とされる光(フィールド)は、単一状態の光には限定されないで、複数の状態の光が重畳された光を対象とされ得るべく、個々の状態の光にインデックス j を充てて一般的に表記する。

[0026] ・ $\phi^j(x)$: j 番目の入射フィールド(複素ベクトル値関数であり、入射面において設定する強度分布および位相の分布、ならびに、波長および偏波により規定される。)

・ $\phi^j(x)$: j 番目の出射フィールド(複素ベクトル値関数であり、出射面において設定する強度分布および位相分布、ならびに、波長および偏波により規定される。)

なお、 $\phi^j(x)$ および $\phi^j(x)$ は、回路中で強度増幅、波長変換、偏波変換が行われな限り、光強度の総和は同じ(あるいは無視できる程度の損失)であり、それらの波長も偏波も同じである。

[0027] ・ $\{\phi^j(x), \phi^j(x)\}$: 入出力ペア(入出力のフィールドの組み。)

$\{\phi^j(x), \phi^j(x)\}$ は、入射面および出射面における、強度分布および位相分布ならびに波長および偏波により規定される。

[0028] ・ $\{n_q\}$: 屈折率分布(光回路設計領域全体の値の組。)

与えられた入射フィールドおよび出射フィールドに対して屈折率分布を1つ与えたときに光のフィールドが決まるので、 q 番目の繰り返し演算で与えられる屈折率分布全体に対するフィールドを考える必要がある。そこで、 (x, z) を不定変数として、屈折率分布全体を $n_q(x, z)$ と表しても良いが、場所 (x, z) における屈折率の値 $n_q(x, z)$ と区別するた

めに、屈折率分布全体に対しては $\{n_q\}$ と表す。

- [0029] $\cdot n_{\text{core}}$: 光導波路におけるコア部分のような、周囲の屈折率に対して高い屈折率の値を示す記号。
- [0030] $\cdot n_{\text{clad}}$: 光導波路におけるクラッド部分のような、 n_{core} に対して低い屈折率の値を示す記号。
- [0031] $\cdot \phi^j(z, x, \{n_q\})$: j 番目の入射フィールド $\phi^j(x)$ を屈折率分布 $\{n_q\}$ 中を z まで伝搬させたときの、場所 (x, z) におけるフィールドの値。
 $\cdot \phi^j(z, x, \{n_q\})$: j 番目の出射フィールド $\phi^j(x)$ を屈折率分布 $\{n_q\}$ 中を z まで逆伝搬させたときの、場所 (x, z) におけるフィールドの値。
- [0032] 本実施形態において、屈折率分布は、すべての j について $\phi^j(z_e, x, \{n_q\}) = \phi^j(x)$ 、またはそれに近い状態となるように $\{n_q\}$ が与えられる。
- [0033] 「入力ポート」および「出力ポート」とは、入射端面および出射端面におけるフィールドの集中した「領域」であり、例えば、その部分に光ファイバを接続することにより、光強度をファイバに伝搬できるような領域である。ここで、フィールドの強度分布および位相分布は、 j 番目のものと k 番目のものとで異なるように設計可能であるので、入射端面および出射端面に複数のポートを設けることができる。さらに、入射フィールドと出射フィールドの組を考えた場合、その間の伝搬により発生する位相が、光の周波数によって異なるので、周波数が異なる光（すなわち波長の異なる光）については、位相を含めたフィールド形状が同じであるか直交しているかの如何にかかわらず、異なるポートとして設定することができる。
- [0034] ここで、電磁界は、実数ベクトル値の場で、かつ波長と偏光状態をパラメータとして有するが、その成分の値を一般的な数学的取扱いが容易な複素数で表示し、電磁波の解を表記する。また、以下の計算においては、フィールド全体の強度は1に規格化されているものとする。図1Bおよび図1Cに示したように、 j 番目の入射フィールド $\phi^j(x)$ および出力フィールド $\phi^j(x)$ に対し、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとをそれぞれの場所の複素ベクトル値関数として、 $\phi^j(z, x, \{n\})$ および $\phi^j(z, x, \{n\})$ と表記する。これらの関数の値は、屈折率分布 $\{n\}$ により変化するため、屈折率分布 $\{n\}$ がパラメータとなる。記号の定義により、 $\phi^j(x) = \phi^j(0, x, \{n\})$ 、および、 $\phi^j(x) = \phi^j(z_e, x, \{n\})$ となる。これらの

関数の値は、入射フィールド $\phi^i(x)$ 、出射フィールド $\phi^o(x)$ 、および屈折率分布 $[n]$ が与えられれば、ビーム伝搬法などの公知の手法により容易に計算することができる。

- [0035] 以下に、空間的な屈折率分布を決定するための一般的なアルゴリズムを説明する。図2に、波動伝達媒体の空間的な屈折率分布を決定するための計算手順を示す。この計算は、繰り返し実行されるので、繰り返し回数を q で表し、 $(q-1)$ 番目まで計算が実行されているときの q 番目の計算の様子が図示されている。 $(q-1)$ 番目の計算によって得られた屈折率分布 $[n_{q-1}]$ をもとに、各 j 番目の入射フィールド $\phi^i(x)$ および出射フィールド $\phi^o(x)$ について、伝搬フィールドと逆伝搬フィールドとを数値計算により求め、その結果を各々、 $\phi^i(z, x, [n_{q-1}])$ および $\phi^o(z, x, [n_{q-1}])$ と表記する(ステップS220)。
- [0036] これらの結果をもとに、各場所 (z, x) における屈折率 $n_q(z, x)$ を、次式により求める(ステップS240)。

$$n_q(z, x) = n_{q-1}(z, x) - \alpha \sum_j \text{Im}[\phi^i(z, x, [n_{q-1}])^* \cdot \phi^o(z, x, [n_{q-1}])] \cdots (1)$$

ここで、右辺第2項中の記号「 \cdot 」は、内積演算を意味し、 $\text{Im}[]$ は、 $[]$ 内のフィールド内積演算結果の虚数成分を意味する。なお、記号「 $*$ 」は複素共役である。係数 α は、 $n_q(z, x)$ の数分の1以下の値をさらにフィールドの組の数で割った値であり、正の小さな値である。 \sum_j は、インデックス j について和をとるという意味である。

- [0037] ステップS220とS240とを繰り返し、伝搬フィールドの出射面における値 $\phi^o(z, x, [n])$ と出射フィールド $\phi^o(x)$ との差の絶対値が、所望の誤差 d よりも小さくなると(ステップS230: YES) 計算が終了する。
- [0038] 以上の計算では、屈折率分布の初期値 $[n_0]$ は適当に設定すればよいが、この初期値 $[n_0]$ が予想される屈折率分布に近ければ、それだけ計算の収束は早くなる(ステップS200)。また、各 j について $\phi^i(z, x, [n_{q-1}])$ および $\phi^o(z, x, [n_{q-1}])$ を計算するにあたっては、パラレルに計算が可能な計算機の場合は、 j ごと(すなわち、 $\phi^i(z, x, [n_{q-1}])$ および $\phi^o(z, x, [n_{q-1}])$ ごと)に計算すればよいので、クラスタシステム等を利用して計算の効率化を図ることができる(ステップS220)。また、比較的少ないメモリで計算機が構成されている場合は、式(1)のインデックス j についての和の部分で、各 q で適当な j を選び、その分の $\phi^i(z, x, [n_{q-1}])$ および $\phi^o(z, x, [n_{q-1}])$ のみを計算して、以降の計算を繰り返すことも可能である(ステップS220)。

- [0039] 以上の演算において、 $\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ の値と $\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})$ の値とが近い場合には、式(1)中の $\text{Im}[\phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})^* \cdot \phi^j(z, x, \{n_{q-1}\})]$ は位相差に対応する値となり、この値を減少させることで所望の出力を得ることが可能である。
- [0040] 屈折率分布の決定は、波動伝達媒体に仮想的メッシュを定め、このメッシュによって画定される微小領域(ピクセル)の屈折率を、各ピクセルごとに決定することと置き換えることもできる。このような局所的な屈折率は、原理的には、その場所ごとに任意の(所望の)値とすることができる。最も単純な系は、低屈折率(n_L)を有するピクセルと高屈折率(n_H)を有するピクセルのみからなる系であり、これら2種のピクセルの空間的分布により全体的な屈折率分布が決定される。この場合、媒体中の低屈折率ピクセルが存在する場所を高屈折率ピクセルの空隙として観念したり、逆に、高屈折率ピクセルが存在する場所を低屈折率ピクセルの空隙として観念したりすることができる。すなわち、本発明の波動伝達媒体は、均一な屈折率を有する媒体中の所望の場所(ピクセル)を、これとは異なる屈折率のピクセルで置換したものと表現することができる。
- [0041] 上述した屈折率分布決定のための演算内容を要約すると次のようになる。波動をホログラフィックに伝達させ得る媒体(光の場合には誘電体)に、入力ポートと出力ポートとを設け、入力ポートから入射した伝搬光のフィールド分布1(順伝搬光)と、入力ポートから入射した光信号が出力ポートから出力される際に期待される出力フィールドを出力ポート側から逆伝搬させた位相共役光のフィールド分布2(逆伝搬光)と、を数値計算により求める。フィールド分布1およびフィールド分布2を、伝搬光と逆伝搬光の各点(x,z)における位相差をなくすように、媒体中での空間的な屈折率分布を求める。なお、このような屈折率分布を得るための方法として最急降下法を採用すれば、各点の屈折率を変数として最急降下法により得られる方向に屈折率を変化させることにより、屈折率を式(1)のように変化させることで、2つのフィールド間の差を減少させることができる。このような波動伝達媒体を、入力ポートから入射した光を所望の出力ポートに出射させる光部品に応用すれば、媒体内で生じる伝搬波同士の多重散乱による干渉現象により、実効的な光路長が長くなり、緩やかな屈折率変化(分布)でも十分に高い光信号制御性を有する光回路を構成することができる。

[0042] 図3に、本発明の一実施形態にかかる光合分波回路を示す。上述したアルゴリズムにしたがって、約200回の繰り返しにより、図3に示した屈折率分布を有する1×2光合分波回路が得られる。ここで、図中の光回路設計領域1-1内の黒色部分は、コアに相当する高屈折率部(誘電体多重散乱部)1-11であり、黒色部以外の部分はクラッドに相当する低屈折率部1-12であり、導波路より屈折率の低い散乱点である。クラッドの屈折率は、石英ガラスの屈折率を想定し、コアの屈折率は、石英ガラスに対する比屈折率が1.5%だけ高い値を有する。光回路のサイズは縦300 μ m、横140 μ mである。屈折率分布を求める際の計算に用いられたメッシュは、300×140である。図4に、光合分波回路の透過スペクトルを示す。透過スペクトルから、波長による光合分波器が形成されていることがわかる。

実施例 1

[0043] 上述したように、ホログラフィック波動伝達媒体は、入力ポートから入射した光を所望の出力ポートに出射させることができる。そこで、基板上に複数の回路要素が形成された光機能回路において、各々の回路要素から漏れ出した光(以下、漏洩光という)、すなわち回路要素の所定の出力ポートから出射されない光を除去する光部品として、ホログラフィック波動伝達媒体を用いる。

[0044] 図5に、光分岐回路における漏洩光の除去方法を示す。1x4光分岐回路は、基板101に形成された導波路型の分岐回路であり、入力導波路102から入射された光は、3つの分岐導波路104a~104cを透過して、4つの出力導波路103a~103dから出射される。このとき、入出力導波路と光学的に結合する光ファイバの軸ズレ、モード不整合によって、1x4光分岐回路101内に漏洩光が生じる。また、分岐導波路104aにおいて生じる放射光またはエバネッセント光が漏洩光となって、分岐導波路104b、104c及び出力導波路103a~103dに再結合して、分岐光の出力パワーの一様性を劣化させる。同様に、分岐導波路104b、104cにおいて生じた放射光またはエバネッセント光が漏洩光となって、出力導波路103a~103dに再結合して分岐光の出力パワーの一様性を劣化させる。

[0045] そこで、分岐導波路104a~104cにおいて生じる漏洩光が、導波路に再び結合することを防ぐために、迷光ガイド105a~105cを設置する。迷光ガイド105a~105c

は、上述した波動伝達媒体であり、基板101内のクラッド部の有限の領域に配置されている。分岐導波路104a～104cにおいて生じる漏洩光は、迷光ガイド105a～105cにより、基板101の入出力導波路が形成されていない側面に出射される。

- [0046] 図6に、1x4光分岐回路の挿入損失を示す。波長 $1.55\mu\text{m}$ の光を入射したときの、入力導波路と各出力導波路との間の挿入損失を示す。迷光ガイド105a～105cが有る場合の挿入損失のバラツキは0.1dBであり、迷光ガイドが無い場合の挿入損失バラツキは1dBである。波導伝達媒体を用いた迷光ガイドにより、漏洩光が除去されていることがわかる。

実施例 2

- [0047] 図7に、MZ型波長合分波回路における漏洩光の除去方法を示す。MZ型波長合分波回路は、入力導波路112a, 112bに結合された光カップラ114aと、出力導波路113a, 113bに結合された光カップラ114bと、光カップラ114aと光カップラ114bとを結合するアーム導波路116a, 116bとから構成されている。実施例1同様に、入出力導波路と光学的に結合する光ファイバの軸ズレ、モード不整合によって、MZ型波長合分波回路内に漏洩光が生じる。また、光カップラ114a, 114bにおいて生じる放射光またはエバネッセント光が漏洩光となって、アーム導波路116a, 116b、出力導波路113a, 113bに再結合してクロストークを劣化させる。

- [0048] そこで、光カップラ114a, 114bにおいて生じる漏洩光が、光導波路に再び結合することを防ぐために、迷光ガイド115a, 115bを設置する。迷光ガイド115a, 115bは、上述した波動伝達媒体であり、基板111内のクラッド部の有限の領域に配置されている。光カップラ114a, 114bにおいて生じる漏洩光は、迷光ガイド115a, 115bにより、基板111の入出力導波路が形成されていない側面に出射される。

- [0049] 図8A, Bに、MZ型波長合分波回路の透過スペクトルを示す。図8Aは、迷光ガイドが無いMZ型波長合分波回路の透過スペクトルであり、クロストークは25dBである。図8Bは、実施例2にかかる漏洩光の除去方法を適用したMZ型波長合分波回路の透過スペクトルであり、クロストークは40dBである。波導伝達媒体を用いた迷光ガイド115a, 115bにより、漏洩光が除去されていることがわかる。

- [0050] 実施例1, 2では、ホログラフィック波動伝達媒体を、漏洩光を除去する光部品とし

て適用することにより、従来の光回路において、複数の出力ポート間で干渉を生じず、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を実現することが可能となる。

実施例 3

- [0051] 図4に示した光合分波回路の透過スペクトルを参照すると、出力ポートbに出射されるべき伝播光の一部が、出力ポートaに出射されていることがわかる。これは、メッシュ状の波動伝達媒体を作製する際の作製誤差により、波動伝達媒体を透過する光の一部が、所定の出力ポートには出力されず、他の出力ポートに出射されたり、出力ポート以外の部分から漏洩するからである。このように、入力ポートから入射された光信号のうち、所定の出力ポートから出射されない光、すなわち設計上想定された回路動作に寄与しない、または回路動作を阻害する伝播光を、以下「迷光」と呼ぶ。図4に示したように、出力ポートbに出射されるべき伝播光が、出力ポートaに迷光となって出射されていることがわかる。
- [0052] 以下、この迷光の除去方法について、図3に示した光合分波回路を例として詳しく説明する。図9に、本発明の実施例3にかかる迷光の除去方法を示す。光合分波回路の入力ポート3-1の光軸3-11に対して、出力ポート3-2の光軸3-12a, bを座標x上で横方向にずらしている。具体的に図9を参照して、入力ポート3-1から入射された光信号のビーム広がり角の半値 θ とする。入力ポート3-1の光軸3-11に対して入力ポート3-1から角度 θ の2本の線と、出射面2-2との交点よりも外側に、出力ポート3-2を配置すればよい。
- [0053] すなわち、設計上想定された回路動作に寄与しない伝播光成分は、屈折率の異なるピクセルによって散乱はされるものの、全体としてはほぼ直進するため、出力ポート3-2の光軸3-12a, bを、入力ポート3-1の光軸3-11に対して、ずらして設定するだけで、迷光を除去する一定の効果がある。
- [0054] 図10に、実施例3にかかる光合分波回路の透過スペクトルを示す。図4に示したスペクトルと比較すると、出力ポートaに出射されていた迷光が抑制されていることがわかる。このようにして、ホログラフィック波動伝達媒体を適用することにより小型化を実現することができ、複数の出力ポート間で干渉を生じず、透過損失、クロストークが小

さいなど回路特性の良好な光機能回路を実現することができる。

実施例 4

[0055] 図11に、本発明の実施例4にかかる迷光の除去方法を示す。実施例3と同様に、入力ポート3-1の光軸3-11に対して、出力ポート3-2の光軸3-12a, bをずらす。実施例4では、出力ポート3-2を、 $x=x_0$ 上の出射面2-3に設定し、光軸3-11と光軸3-12a, bとが直角をなす。

[0056] このとき、屈折率分布を求める計算は、入力ポート3-1と出力ポート3-2とを結ぶ直線に沿って計算すればよく、この場合には、入力フィールドと出力フィールドを傾けて与えることになる。

実施例 5

[0057] 図12に、本発明の実施例5にかかる迷光の除去方法を示す。実施例4の構成に加えて、迷光ガイド4を配置する。実施例4では、入力ポートの光軸3-11に沿って、出射面2-2の方向に迷光が出力されると考えられる。そこで、光軸3-11周辺の迷光をまとめて、出射面2-2の左端部にまとめて出力できるように、迷光ガイド4を配置する。

[0058] 迷光ガイド4の屈折率分布を求める計算は、迷光ガイドの入力端面を適当に決めて、入力端面での迷光フィールドを求める。次に、入力端面を基準とする軸に沿って、上述したアルゴリズムで計算を行う。

実施例 6

[0059] 図13に、本発明の実施例6にかかる迷光の除去方法を示す。実施例3の構成に加えて、入力導波路5-1と出力導波路5-2a, bとを配置する。図9に示した光回路は、光回路設計領域1-1内に形成された波動伝達媒体の入力ポート3-1および出力ポート3-2が構造的な境界を有していないので、光ファイバとの接続が難しい。

[0060] そこで、光回路設計領域1-1周辺の基板1-2に、入力ポートに接続された導波路5-1および出力ポートに接続された導波路5-2a, bを形成する。光導波路5-1, 5-2は、コア部およびその周囲のクラッド部からなる直線導波路であり、構造的な境界を有しているので、光ファイバ6-1, 6-2との接続が容易となる。

[0061] なお、実施例6では、直線導波路を示したが、光導波路は、レイアウトに自在性があ

り、曲線導波路も可能である。従って、光回路設計領域1-1の入力ポートおよび出力ポートと、光ファイバとの位置関係の自由度が増す。

実施例 7

- [0062] 図14に、本発明の実施例7にかかる迷光の除去方法を示す。実施例7は、基板1-2の上に、図2に示した設計手順により設計された波動伝達媒体が形成された複数の光回路設計領域を有する複合光回路の一例である。光ファイバ6-1は、光回路設計領域1-1aの入力ポートに接続されている入力導波路5-1と光学的に結合されている。光回路設計領域1-1aは、例えば、光合分波器であり、2つの出力ポートを有する。出力ポートは、それぞれ接続導波路5-3a, bを介して、光回路設計領域1-1bの入力ポートに接続されている。光回路設計領域1-1bは、例えば、フィルタ回路であり、2つの出力ポートを有する。出力ポートは、それぞれ出力導波路5-2a, bを介して、光ファイバ6-2a, bに光学的に結合されている。
- [0063] 光回路設計領域1-1aは、実施例3に示したように、入力ポートの光軸に対して、出力ポートの光軸が座標x上で横方向にずれている。入力導波路5-1の周囲には、実施例5と同様に、光ファイバと入力導波路との接続部で発生する迷光が、光回路設計領域1-1aに入力されないように、迷光ガイド4-2を配置する。
- [0064] また、導波路5-3a, bの周囲には、出力ポートと導波路との接続部で発生する迷光が、光回路設計領域1-1bに入力されないように、迷光ガイド4-3を配置する。出力導波路5-2a, bの周囲にも、出力ポートと導波路との接続部で発生する迷光が、光ファイバに結合しないように、迷光ガイド4-4a, bを配置する。
- [0065] このようにして、接続部で発生する迷光、波動伝達媒体で発生する迷光が、次段の光回路に入力されないようにして、各々回路特性のよい光回路を構成することができる。また、ホログラフィック波動伝達媒体を適用することにより光回路の小型化を実現することができる。
- [0066] 実施例3～7では、ホログラフィック波動伝達媒体を適用することにより光回路の小型化を図り、さらに、入力ポートの光軸と出力ポートの光軸とが、互いに一致しないように配置することにより、複数の出力ポート間で干渉を生じず、透過損失、クロストークが小さいなど回路特性の良好な光機能回路を実現することが可能となる。

実施例 8

- [0067] 上述したように、入出力導波路と光学的に結合する光ファイバの軸ズレ、モード不整合によって、漏洩光が生じたり、迷光が発生する。そこで、ホログラフィック波動伝達媒体を適用した光導波路デバイスの接続を容易にして、透過損失、クロストークが小さい光機能回路を実現する。
- [0068] 図15に、本発明の実施例8にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。図3に示した光合分波回路に光ファイバを接続し、不図示のパッケージに封入することにより光導波路デバイスを構成する。基板10に形成された波動伝達媒体11の入射端面における入力ポートと、出射端面における出力ポートとに、光ファイバ13a～13cの端面を結合する。光ファイバ13a～13cは、固定するガラスブロック12a～12cに固定され、基板10とガラスブロック12a～12cとの位置合わせを行いながら入出力ポートに結合する。
- [0069] 波動伝達媒体11は、メッシュ状のピクセルのため、構造的な境界を有していないので、入出力ポートの集光位置を目視で判別することが困難である。そこで、基板10には、演算の際に決定された入出力ポートの座標を基準に、調芯用のマーカ15a～15cを形成する。調芯用マーカ15a～15cは、基板10に導波路コアを形成しても良いし、基板10表面に金属を形成するなどしても良い。対向するガラスブロック12a～12cにも、光ファイバ23a～23cの集光位置に対応したマーカを形成しておくことにより、位置あわせを容易に行うことができる。

実施例 9

- [0070] 図16に、本発明の実施例9にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。入出力ポート近傍の光のビーム径が小さい領域において、光の進行方向に対して斜めに入射する成分の割合を小さくして、クロストークを抑える必要がある。そこで、図3に示した光合分波回路である波動伝達媒体21の入力ポートに導波路25aを接続し、出力ポートに光導波路25b, 25cを接続する。さらに、基板20には、モードフィールド変換用の波動伝達媒体24a～24cを形成して、光導波路25a～25cと光ファイバ23a～23cとの結合効率を向上させる。
- [0071] モードフィールド変換用の波動伝達媒体24a～24cと光ファイバ23a～23cとの接

続においても、調芯用のマーカ26a～26cを用いる。すなわち、基板20には、演算の際に決定された入出力ポートの座標を基準に、調芯用マーカ26a～26cを形成し、対向するガラスブロック22a, 22bにも、光ファイバ23a～23cの集光位置に対応したマーカを形成しておくことにより、位置あわせを容易に行うことができる。

実施例 10

[0072] 図17に、本発明の実施例10にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。実施例9との相違は、モードフィールド変換用の波動伝達媒体24a～24cの構成が異なる。

[0073] 実施例9の波動伝達媒体24a～24cは、仮想的なメッシュにより画定される仮想的なピクセルの各々が有する屈折率(ここでは、2値の屈折率)により、波動伝達媒体の全体的な屈折率分布を決定していた。実施例10では、上述した空間的な屈折率分布を決定するための一般的なアルゴリズムを使用して、図17に示すように、光導波路のコア幅を光軸方向に変調することにより屈折率分布を決定する。

[0074] 波動伝達媒体24aのコアの幅の構成方法について簡単に説明する。光ファイバ23aから入力された信号光のフィールドと、波動伝達媒体21に出力される希望の信号光のフィールドの位相を反転させたフィールドを、光ファイバ23aへ伝搬させたフィールドとの位相差が、最小となるような屈折率分布を与えれば、入力させた信号光を希望の出力信号光に変換することができる。具体的には、光軸方向の各位置における位相差を計算し、位相差が正である場合には光導波路のコア幅を拡大し、位相差が負である場合には光導波路のコア幅を縮小することにより位相差を最小化する。このような構成方法に基づき、位相差が最小となるような光導波路のコアの幅をそれぞれ計算により求めることで、入力させた信号光を希望の出力信号光に変換することができる。

実施例 11

[0075] 図18に、本発明の実施例11にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。図3に示した光合分波回路である波動伝達媒体21が形成された基板20と、発光素子41と受光素子42とが載置された基板40とを結合して、不図示のパッケージに封入することにより光導波路デバイスを構成する。波動伝達媒体21の出力ポ

ートに光導波路25b, 25cを接続し、集光レンズとなる波動伝達媒体27a～27bを形成して、発光素子41および受光素子42との結合効率を向上させる。

- [0076] 集光レンズとなる波動伝達媒体27a～27bと発光素子41および受光素子42との接続においても、調芯用のマーカ26b, 26cを用いる。このようにして、集光レンズを波動伝達媒体として基板上に形成することで、光導波路デバイスの小型化を図ることができる。従来、光導波路デバイスを作製する際に、発光素子および受光素子と、集光レンズと、光合分波器との間で光軸合わせが必要であったが、本実施形態によれば、調芯用のマーカによる位置合わせを行うだけなので、光導波路デバイスの作製工程を短縮することができる。

実施例 12

- [0077] 図19に、本発明の実施例12にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。図3に示した光合分波回路である波動伝達媒体21が形成された基板20と、例えば、光スイッチ51と光フィルタ52とが形成された基板50とを結合して、不図示のパッケージに封入することにより光導波路デバイスを構成する。基板20の光導波路25b, 25cと基板50の光導波路とを、モードフィールド変換用の波動伝達媒体24b, 24cにより接続する。

- [0078] 接続のための位置合わせには、図16の光ファイバの場合と同様に、調芯用のマーカ26b, 26cを用いる。このようにして、従来のPLC回路と波動伝達媒体との接続も、調芯用のマーカにより容易に行うことができ、実施例8, 9と本実施例によれば、様々な構成の光導波路デバイスを容易に組み合わせることができる。

実施例 13

- [0079] 図20に、本発明の実施例13にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。基板30上の波動伝達媒体31の入力ポートには導波路35aを接続し、出力ポートには光導波路35b, 35cを接続する。実施例9と同様に、さらに、モードフィールド変換用の波動伝達媒体34a～34cを形成して、光導波路35a～35cと入出力用の光ファイバ33a, 33bとの結合効率を向上させる。

- [0080] モードフィールド変換用の波動伝達媒体34a～34cと入出力用の光ファイバ33a, 33bとの接続には、モニタ用導波路36a, 36bを用いる。すなわち、基板30には、演

算の際に決定された入出力ポートの座標を基準に、モニタ用導波路36a, 36bのポートを形成し、対向するガラスブロック32a, 32bにも、光ファイバの集光位置に対応した調芯用の光ファイバ33a, 33bを保持しておく。調芯用の光ファイバ33a, 33bとモニタ用導波路36a, 36bとを介して、光源と光パワーメータを接続し、光強度を測定しながら接続位置をきめることにより、モードフィールド変換用の波動伝達媒体34a～34cと入出力用の光ファイバ33a, 33bとの位置あわせを容易に行うことができる。

実施例 14

[0081] 図21に、本発明の実施例14にかかる光合分波回路を含む光導波路デバイスの構成を示す。実施例13との相違は、モードフィールド変換用の波動伝達媒体34a～34cが、実施例10と同様に、導波路幅を変調した波動伝達媒体となっている。

[0082] 実施例8～14では、基板上に形成された調芯用のマーカまたはモニタ用導波路により、ホログラフィック波動伝達媒体を適用した光導波路デバイスの接続を容易にすることが可能となる。

実施例 15

[0083] 図22に、本発明の実施例15にかかる光回線終端装置(ONU)の構成を示す。ONUは、光ファイバ加入者網の加入者宅に設置される機器であり、局側の光回線終端装置(OLT)との間で、光信号の送受信を行う。OLT-ONUの下り信号には、波長 $1.55\mu\text{m}$ を使用し、ONU-OLTの上り信号には、波長 $1.55\mu\text{m}$ を使用する。

[0084] ONUは、PLC基板201上に下り信号を受信するPD202と、上り信号を送信するLD203と、LD203の出力光のパワーを監視するモニタPD204と、上り信号および下り信号を合分波するWDMフィルタ205とを備えている。また、WDMフィルタ205で波長多重された信号は、ガラスブロック206に固定された光ファイバ207を介して、OLTと接続される。ONUにおいては、PD202と光導波路、LD203と光導波路、WDMフィルタ205と光導波路、光ファイバ207と光導波路との接続箇所において、漏洩光が生じる。

[0085] そこで、上述した実施例に記載された漏洩光の除去方法などを適用する。波動伝達体211, 212は、実施例11に示したように、集光レンズの機能を有し、それぞれPD202と光導波路、LD203と光導波路の結合効率を向上させる。WDMフィルタと光

導波路の交差箇所においては、実施例1, 2に示したように、波動伝達体からなる迷光ガイド213a, 213bを設置して、漏洩光が再び光導波路に結合することを防ぐ。さらに、PLC基板201とガラスブロック206との接続には、実施例8に示したように、マーカー215a, 215bを用い、光ファイバ207と光導波路との結合には、実施例9に示したように、モードフィールド変換用の波動伝達媒体214を用いる。

- [0086] このようにして、各々の接続箇所における光結合の結合効率を向上させるとともに、クロストークを抑制することにより、光受信器としてS/Nの劣化を回避することができる。また、実装工程における接続が容易になるので、実装のための工数削減し、生産性を向上することができる。

請求の範囲

- [1] 基板上に複数の回路要素が形成された光機能回路において、
前記回路要素の所定の出力ポートから出射されない漏洩光が、他の回路要素と結合しないように、前記漏洩光の光路を変換する波動伝達媒体を備え、
該波動伝達媒体は、基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋設されたコアとからなる光導波路により構成され、該光導波路の一部が多重散乱する屈折率分布により形成されていることを特徴とする光機能回路。
- [2] 前記波動伝達媒体は、仮想的なメッシュにより画定される仮想的なピクセルの各々が有する屈折率により、前記波動伝達媒体の屈折率分布が決定されていることを特徴とする請求項1に記載の光機能回路。
- [3] 前記波動伝達媒体は、前記光導波路の幅を光軸方向に変調することにより、前記波動伝達媒体の屈折率分布が決定されていることを特徴とする請求項1に記載の光機能回路。
- [4] 基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋設されたコア部とからなる導波路により構成され、該光導波路の一部が多重散乱する屈折率分布により形成されている波動伝達媒体を含む光機能回路であって、
前記波動伝達媒体に画定された入力ポートから入射された光信号のうち、前記波動伝達媒体に画定された所定の出力ポートから出射されない迷光が、他の出力ポートに結合されないように、前記入力ポートの光軸と前記所定の出力ポートの光軸とは、互いに一致しないように配置されていることを特徴とする光機能回路。
- [5] 前記入力ポートから入射された光信号のビーム広がり角の半値 θ とすると、前記入力ポートの光軸に対して、前記入力ポートから角度 θ の2本の線に挟まれた領域の外側に、前記所定の出力ポートが配置されていることを特徴とする請求項4に記載の光機能回路。
- [6] 基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋設されたコア部とからなる導波路により構成され、該光導波路の一部が多重散乱する屈折率分布により形成されている波動伝達媒体を含む光機能回路であって、
前記基板上に、前記波動伝達媒体に画定された入出力ポートを規定する調芯用

のマーカが形成され、

前記入出力ポートと光学的に結合される光学部品を有する部材に形成された、前記光学部品の集光位置を規定する調芯用のマーカと、前記ポートを規定する調芯用のマーカとの位置合わせにより前記ポートと前記光学部品とを光学的に結合させることを特徴とする光機能回路。

- [7] 基板上に形成されたクラッド層と、該クラッド層に埋設されたコア部とからなる導波路により構成され、該光導波路の一部が多重散乱する屈折率分布により形成されている波動伝達媒体を含む光機能回路であって、

前記基板上に、前記波動伝達媒体に画定された入出力ポートを規定するモニタ用導波路が、入力ポートが形成された端面から出力ポートが形成された端面まで形成され、

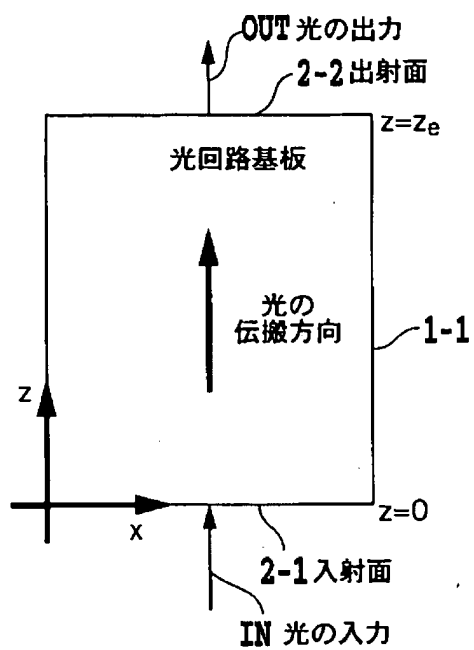
前記入出力ポートと光学的に結合される光学部品を有する部材に形成された、前記光学部品の集光位置を規定する調芯用の光ファイバと、前記モニタ用導波路との位置合わせにより前記入出力ポートと前記光学部品とを光学的に結合させることを特徴とする光機能回路。

- [8] 前記入出力ポートの少なくとも一方に結合される前記光学部品は光ファイバであり、前記部材は前記光ファイバを固定するガラスブロックであることを特徴とする請求項6または7に記載の光機能回路。

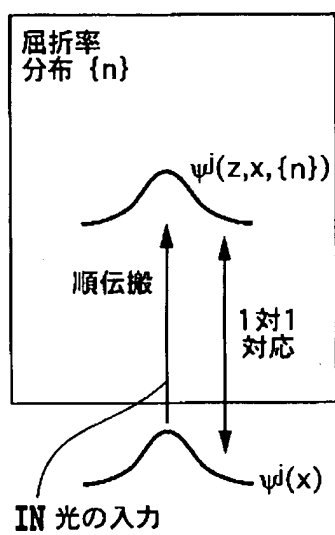
- [9] 前記入出力ポートの少なくとも一方に結合される前記光学部品は発光素子と受光素子のいずれかであり、前記波動伝達媒体は、集光レンズとなる波動伝達媒体であることを特徴とする請求項6または7に記載の光機能回路。

- [10] 前記入出力ポートの少なくとも一方に結合される前記光学部品は光導波路であり、前記波動伝達媒体は、モードフィールド変換用の波動伝達媒体であることを特徴とする請求項6または7に記載の光機能回路。

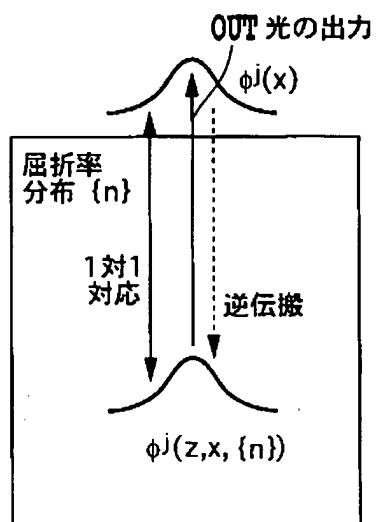
[図1A]



[図1B]

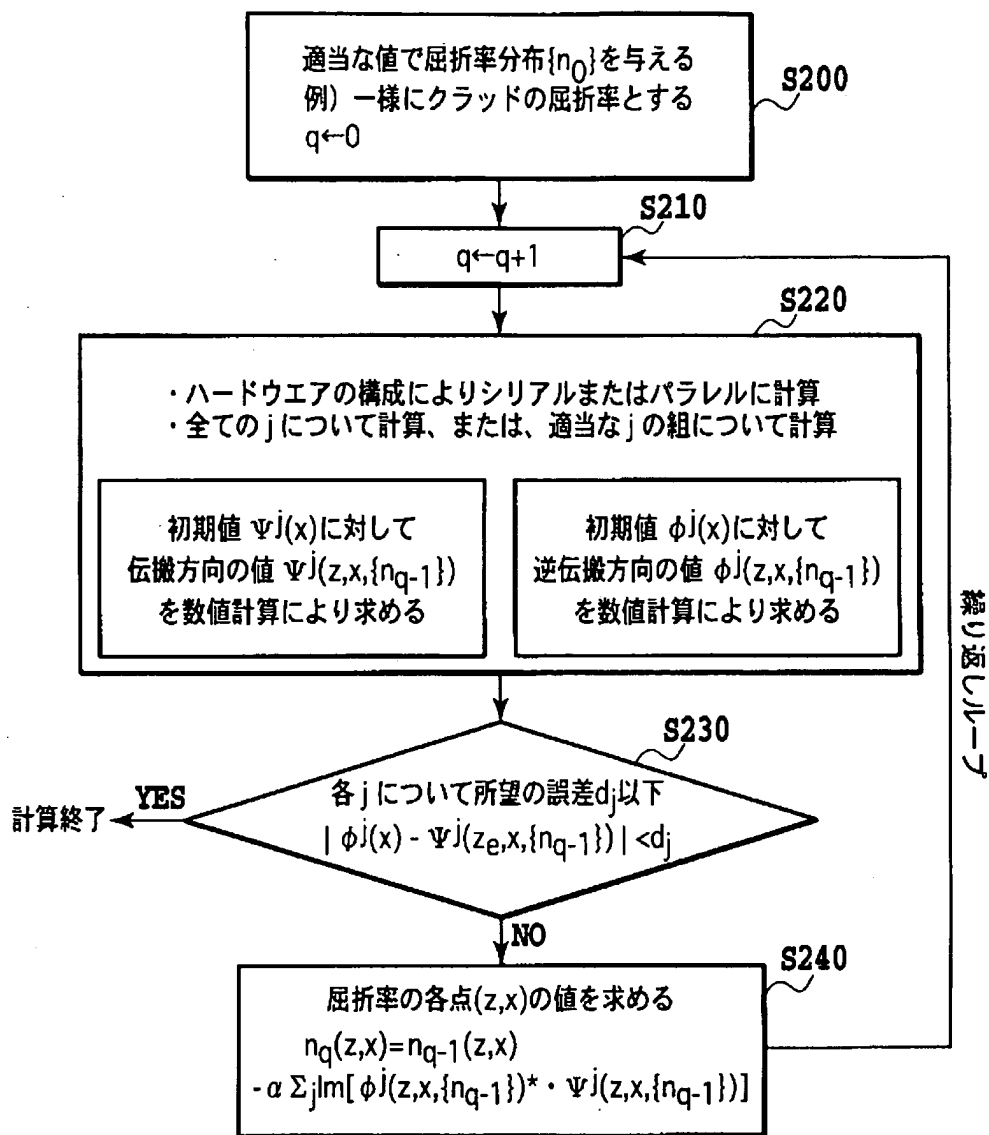


[図1C]



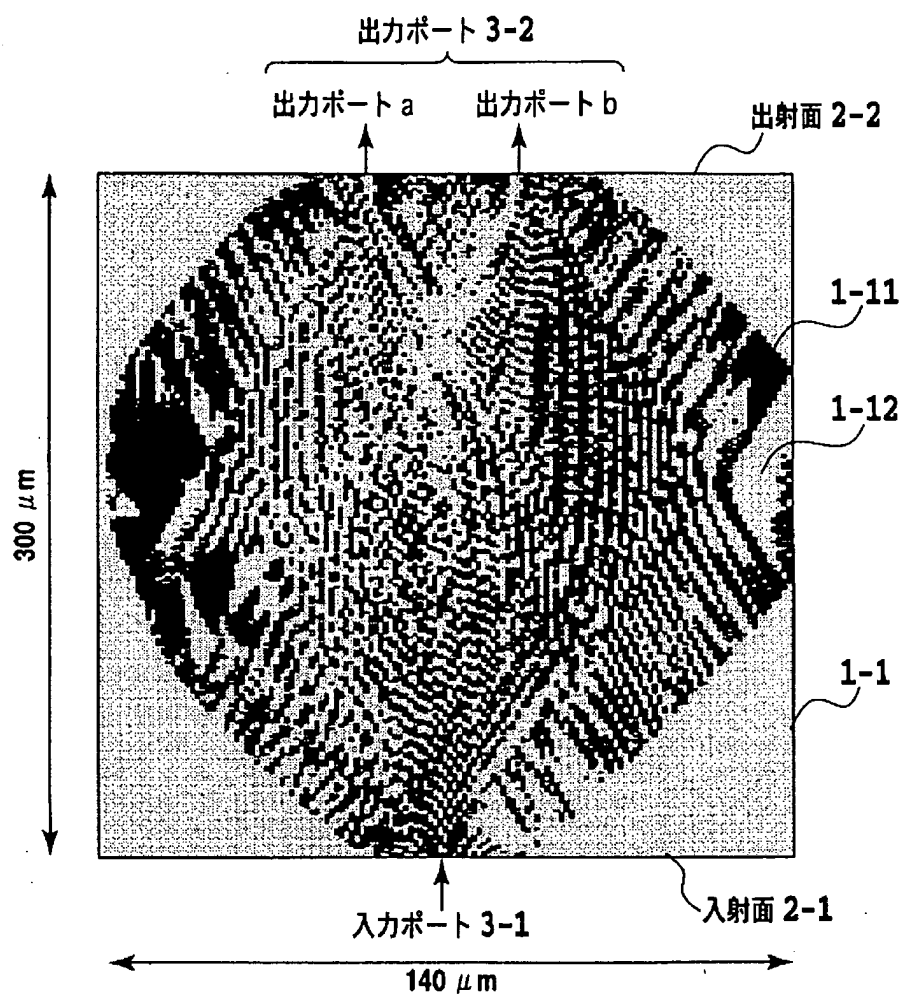
j番目の入出力ペア
 $\{\psi^j(x), \phi^j(x)\}$

[図2]

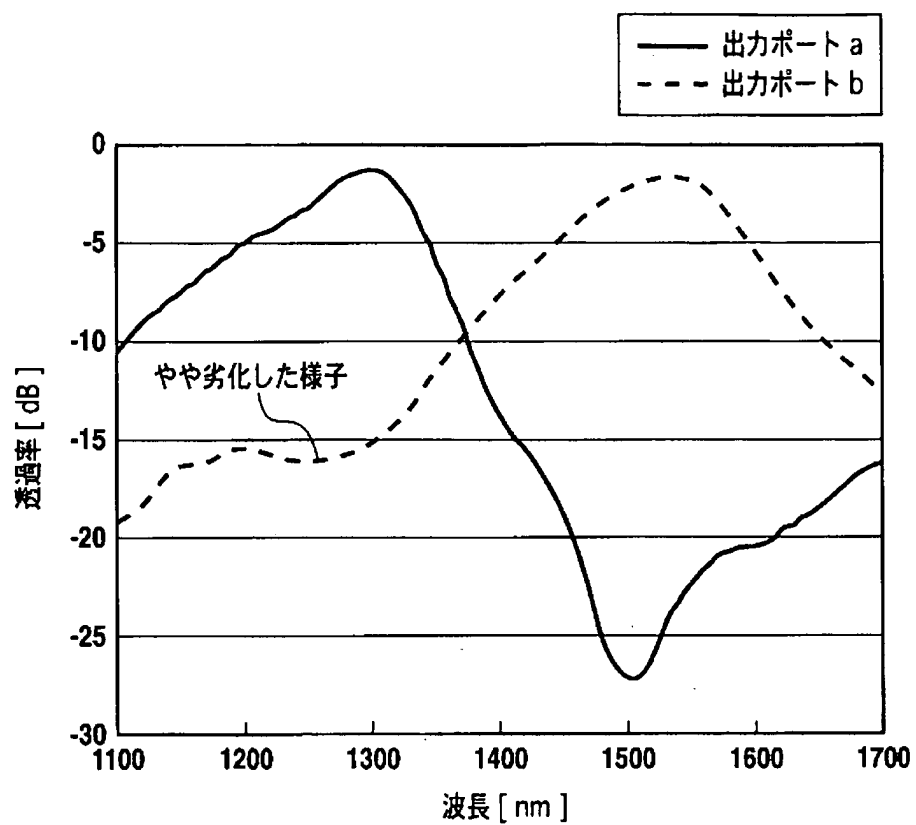


※ “ \leftarrow ” の意味はたとえば
 $A \leftarrow B + C$
はAにBとCの和を代入することを表す

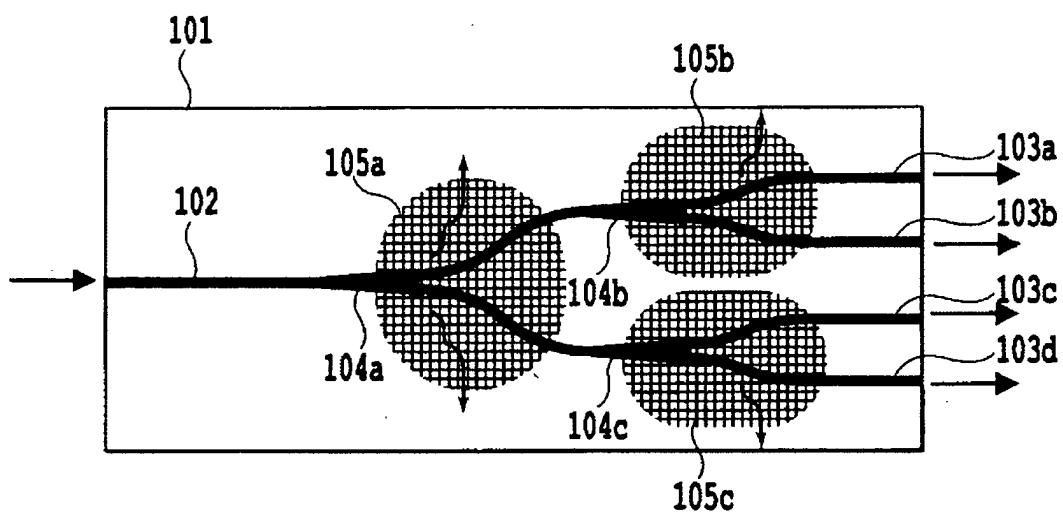
[図3]



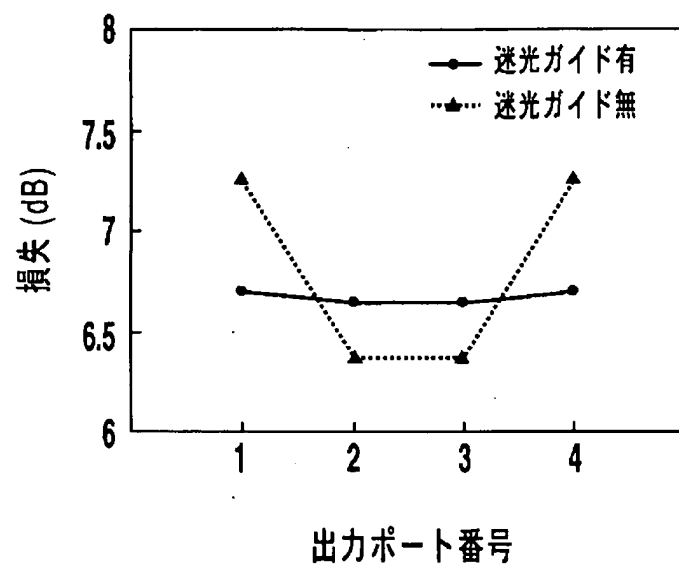
[図4]



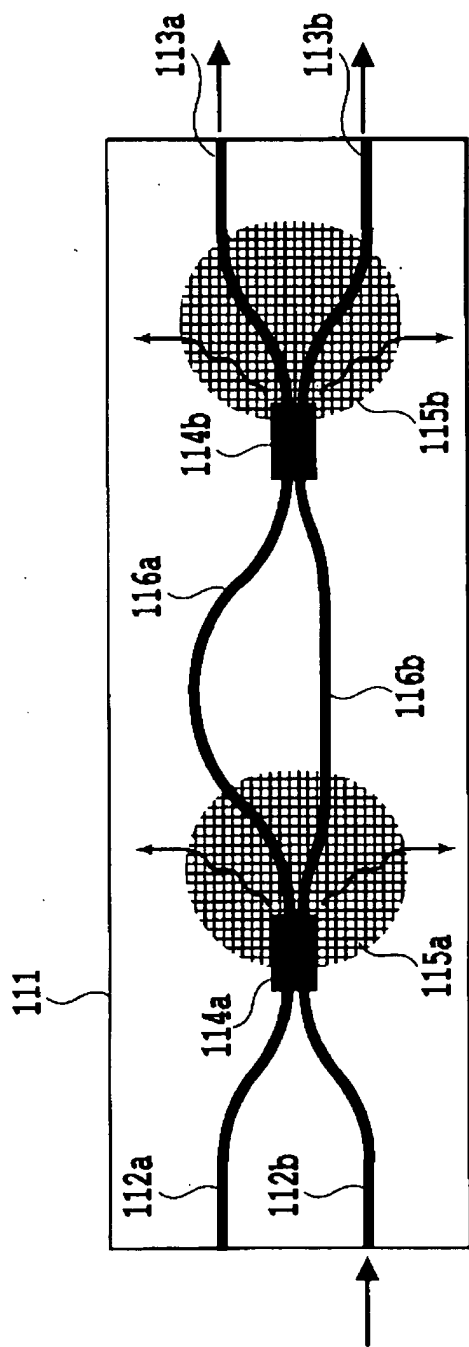
[図5]



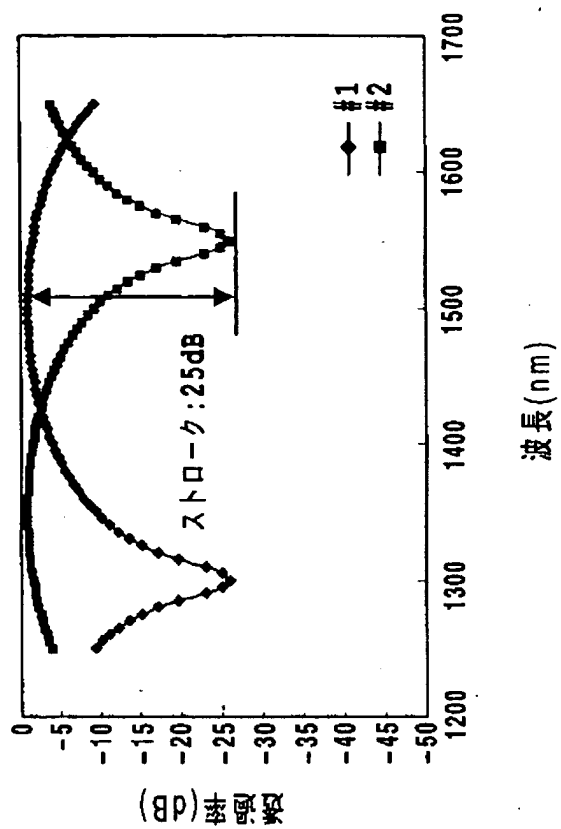
[図6]



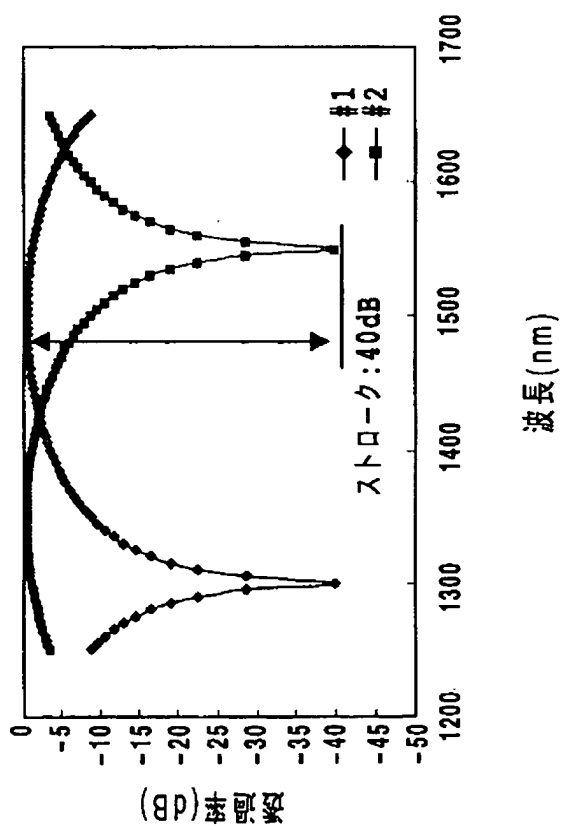
[図7]



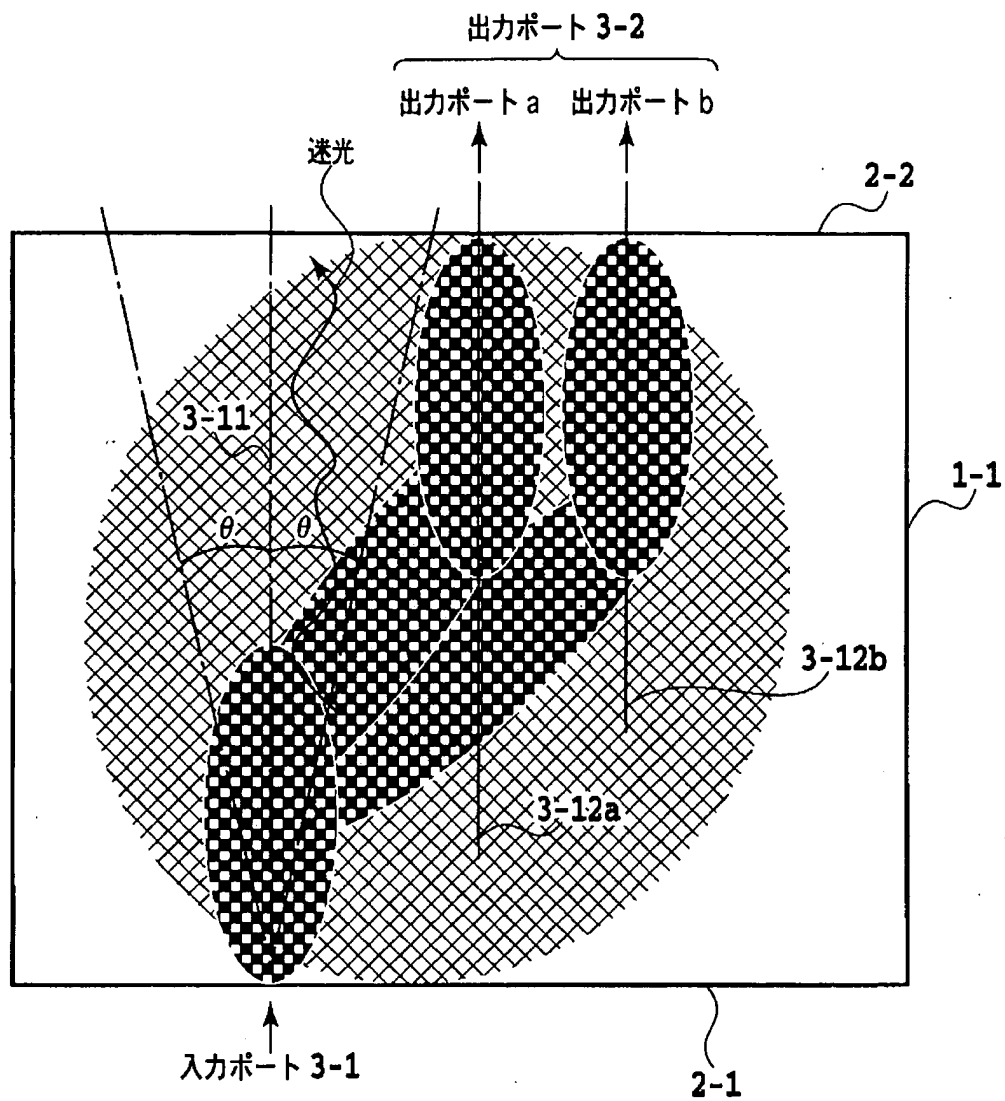
[図8A]



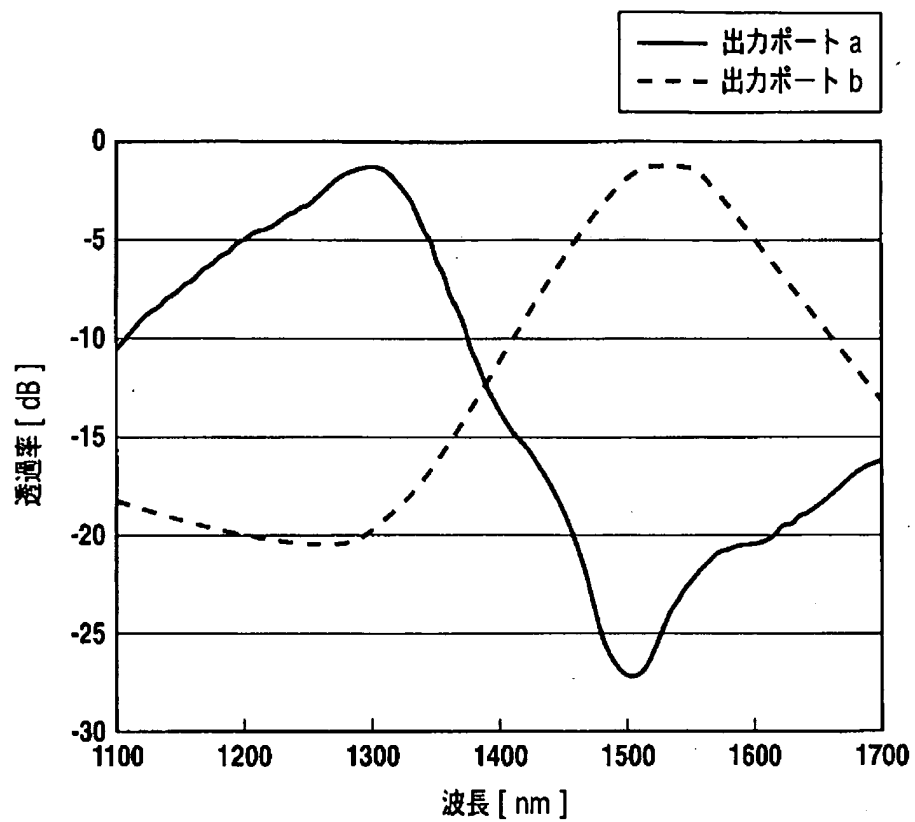
[図8B]



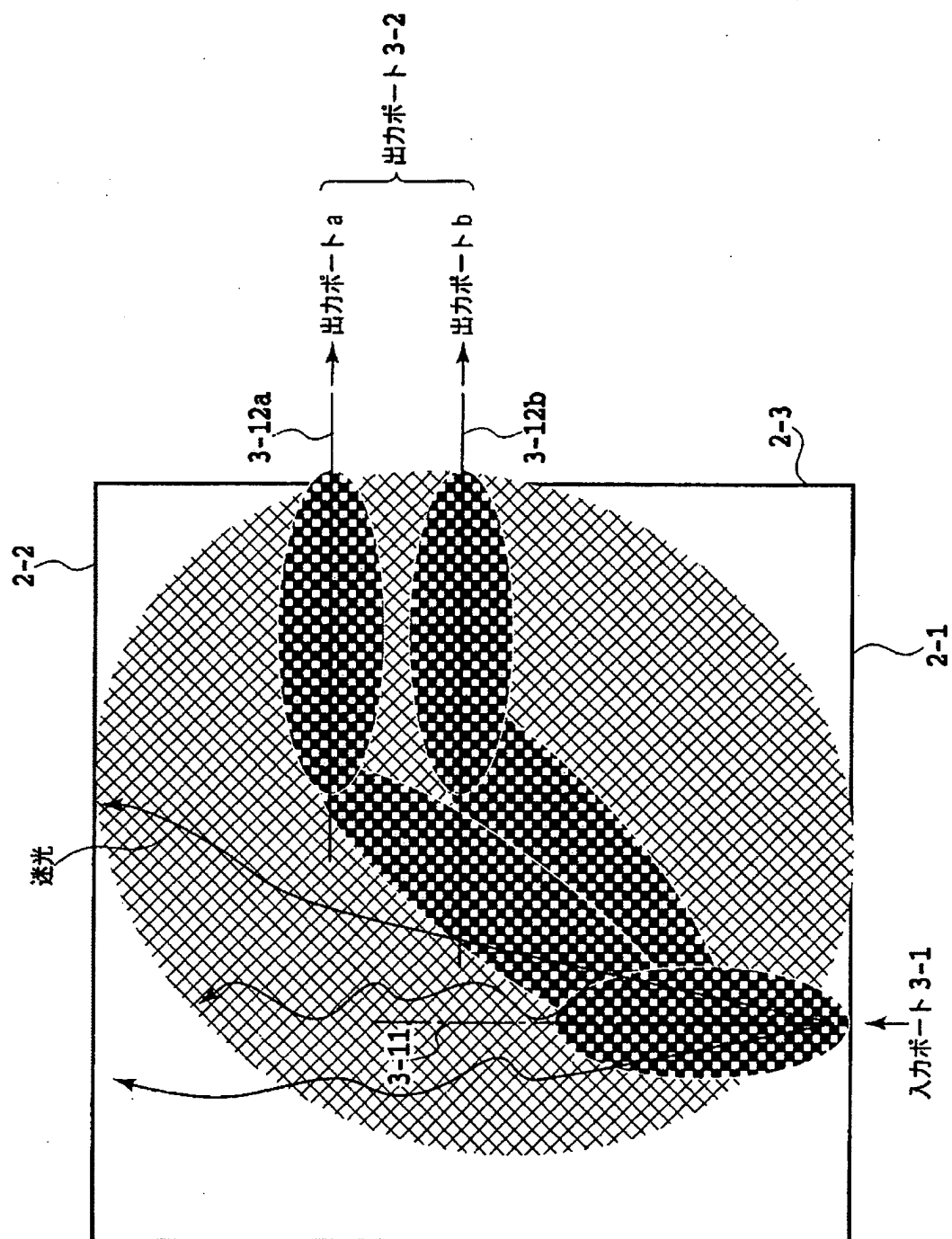
[図9]



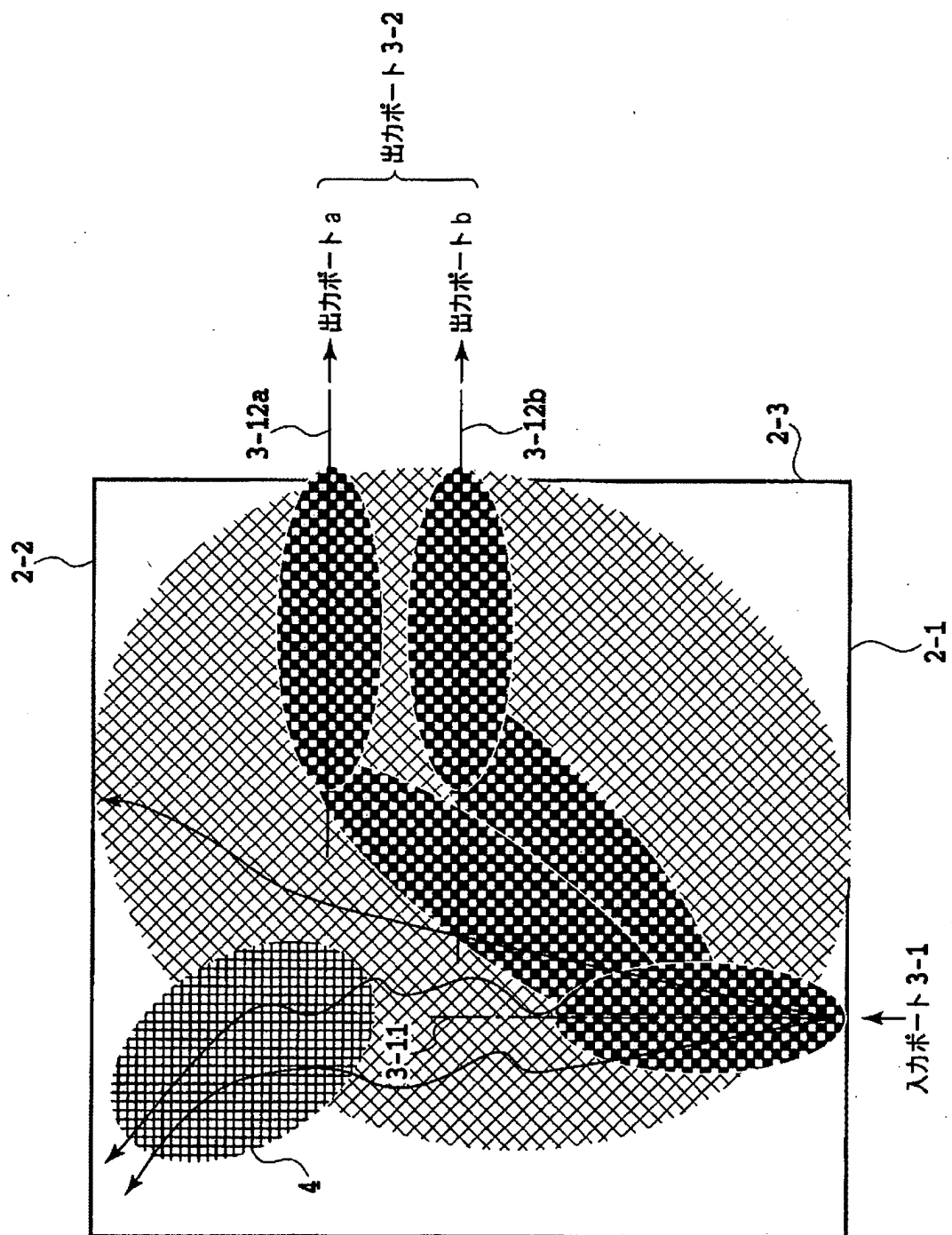
[図10]



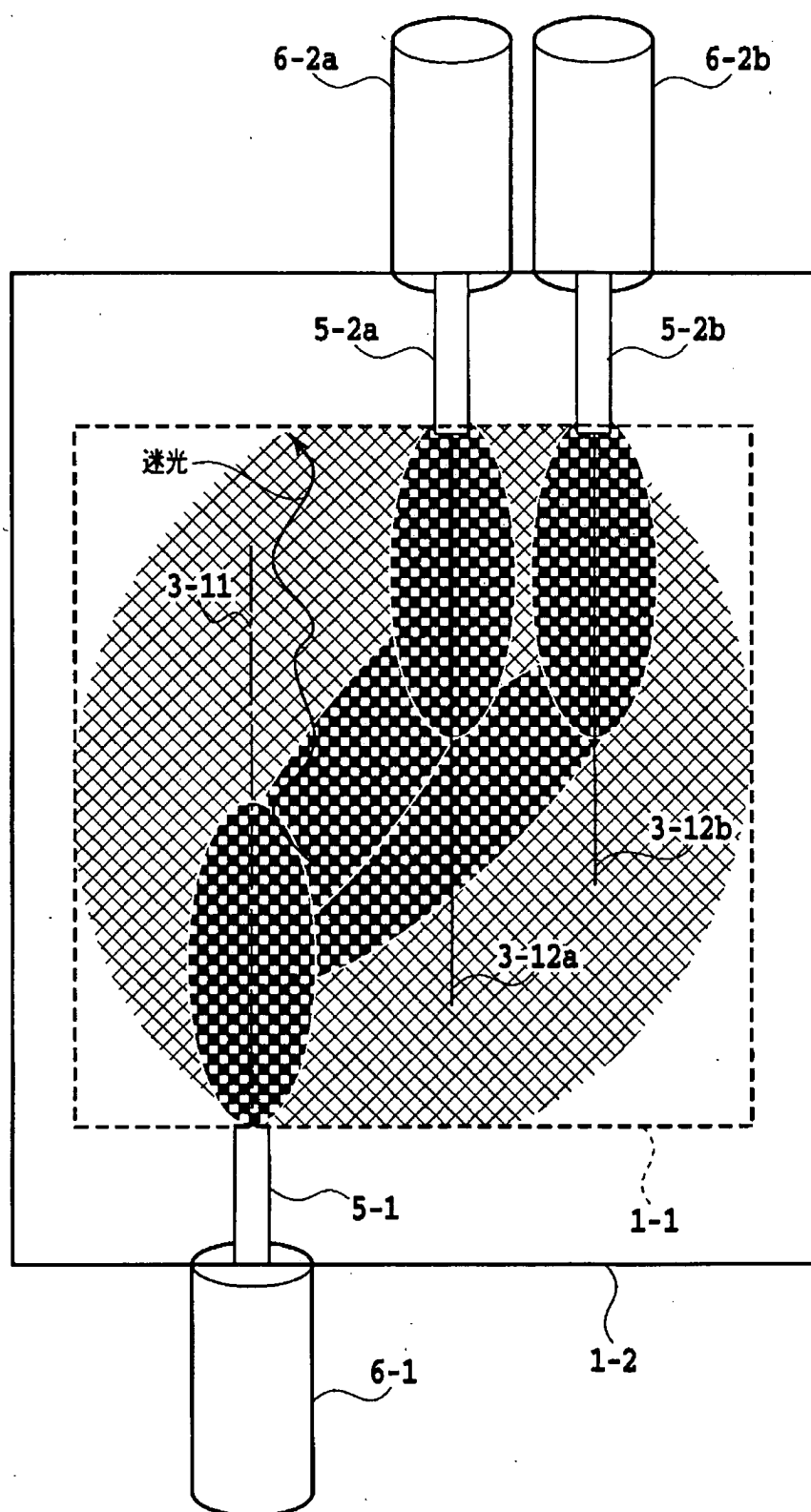
[図11]



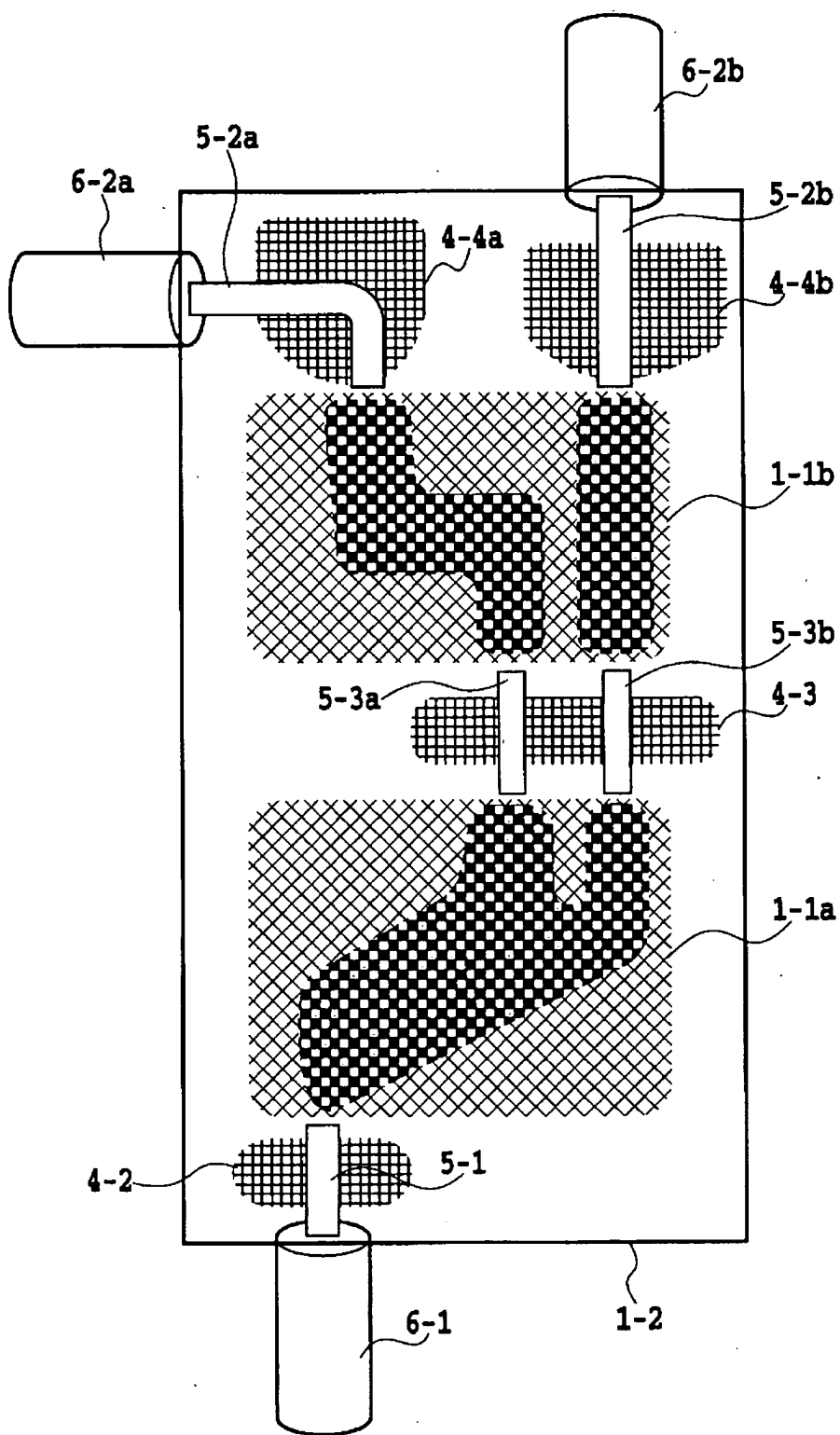
[図12]



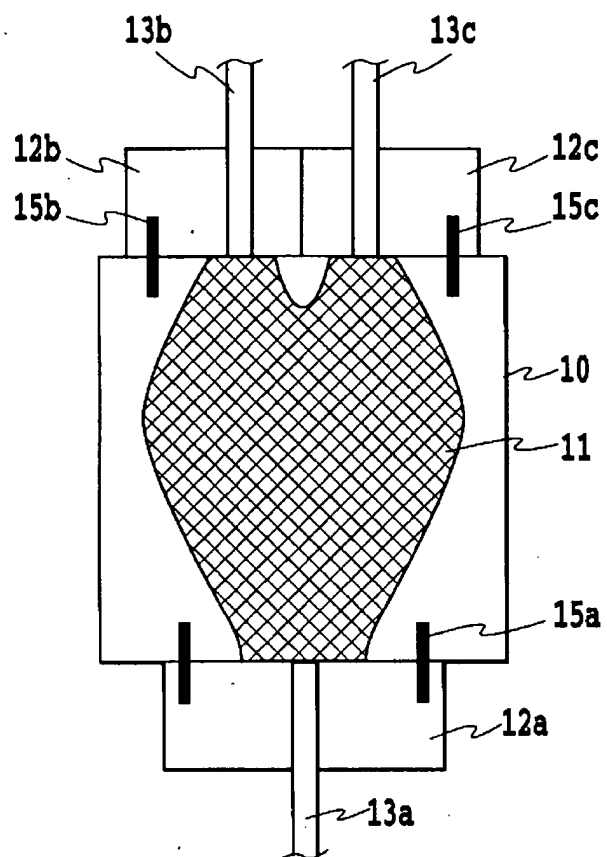
[図13]



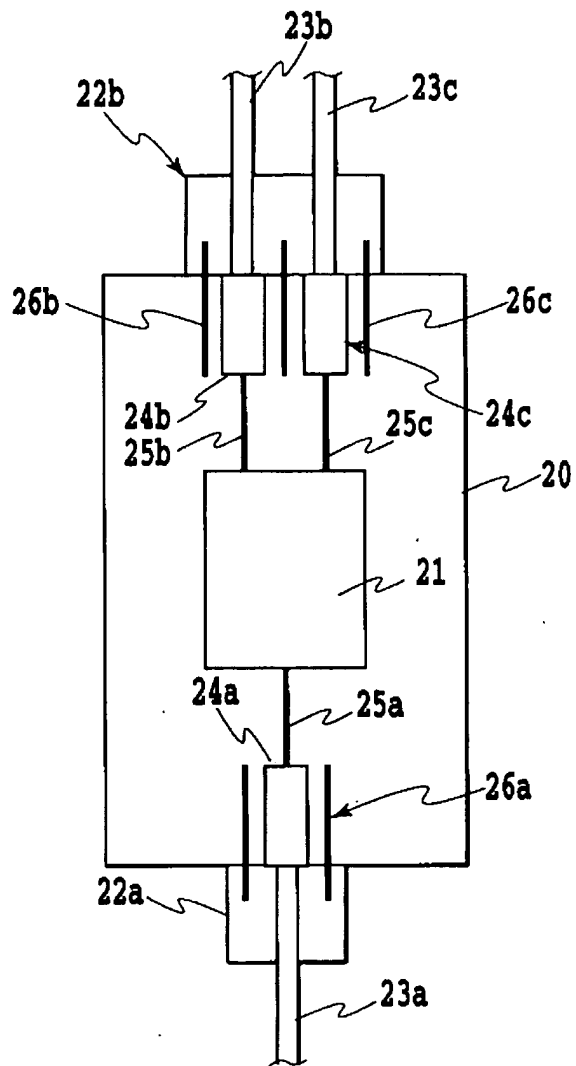
[図14]



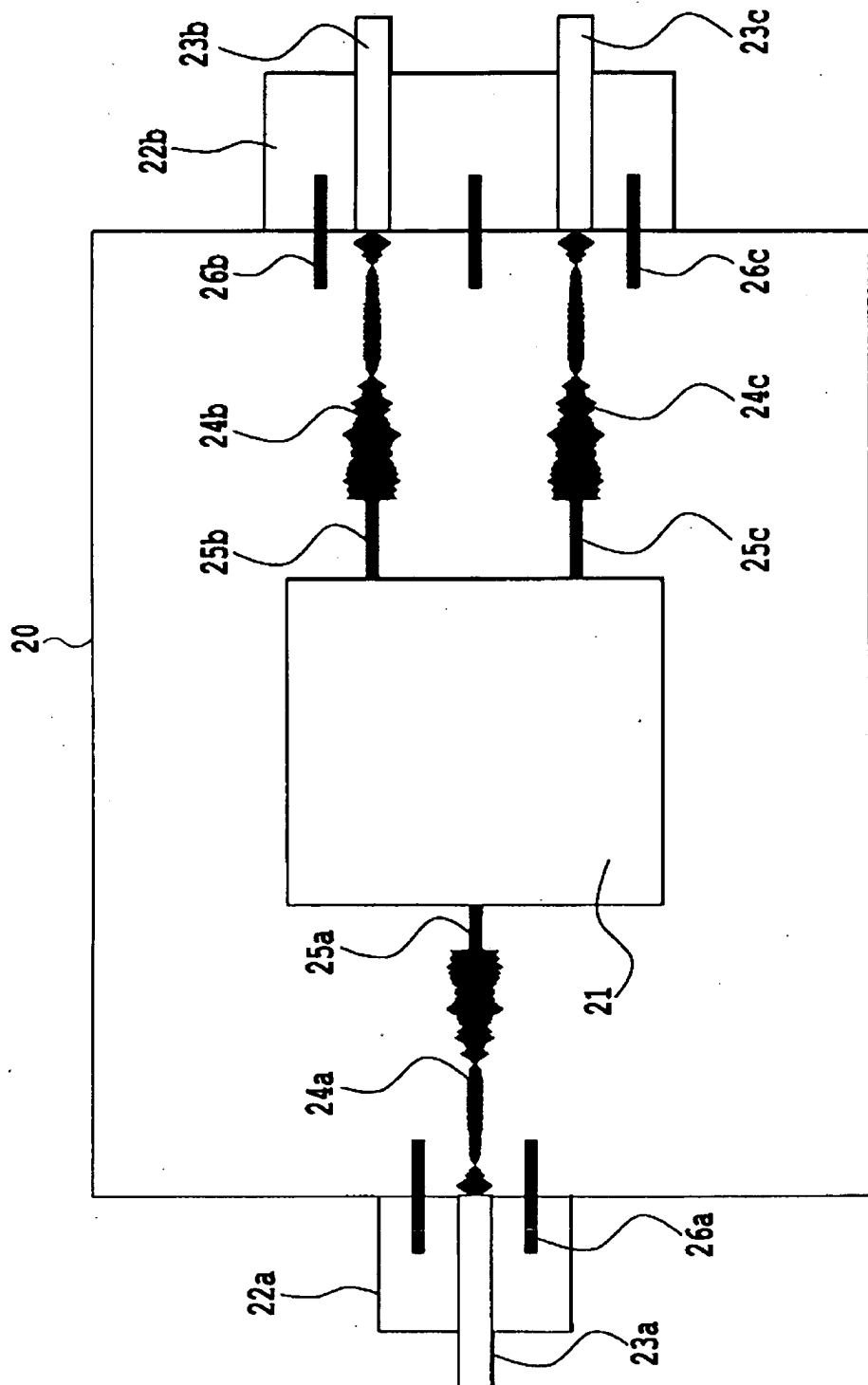
[図15]



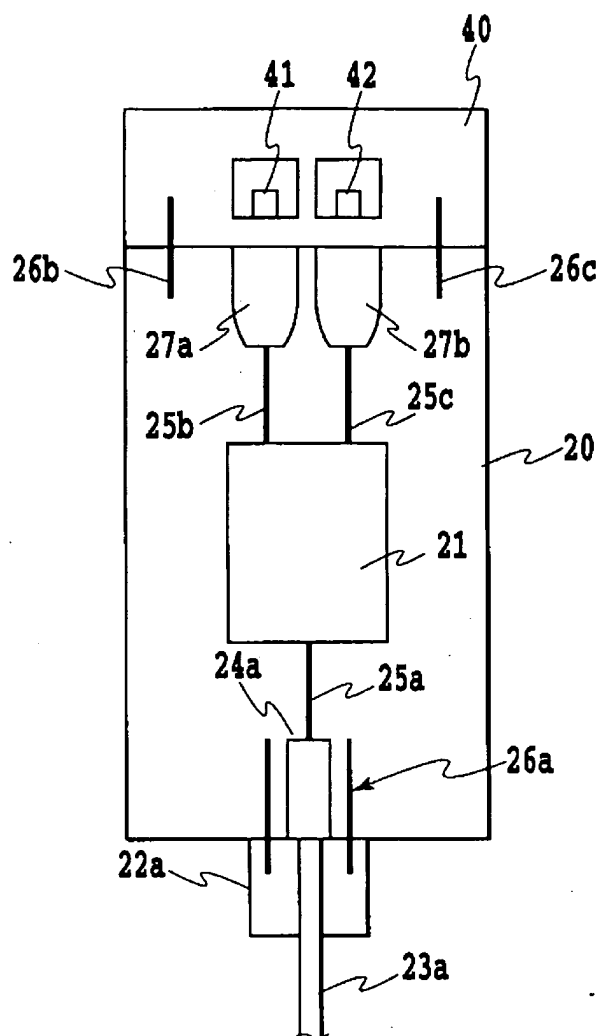
[図16]



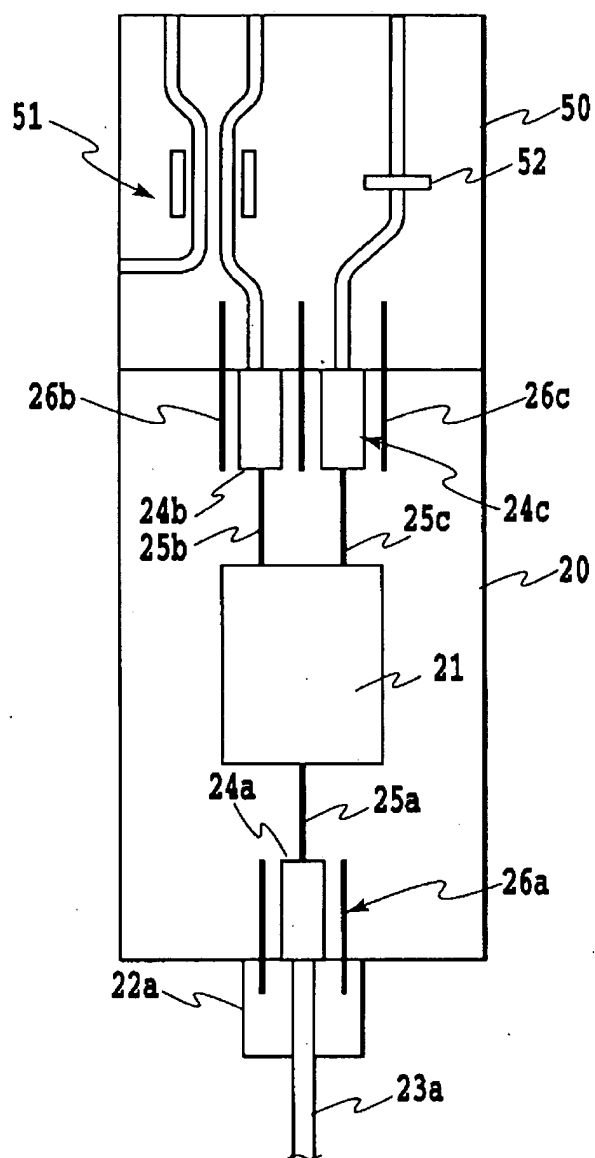
[図17]



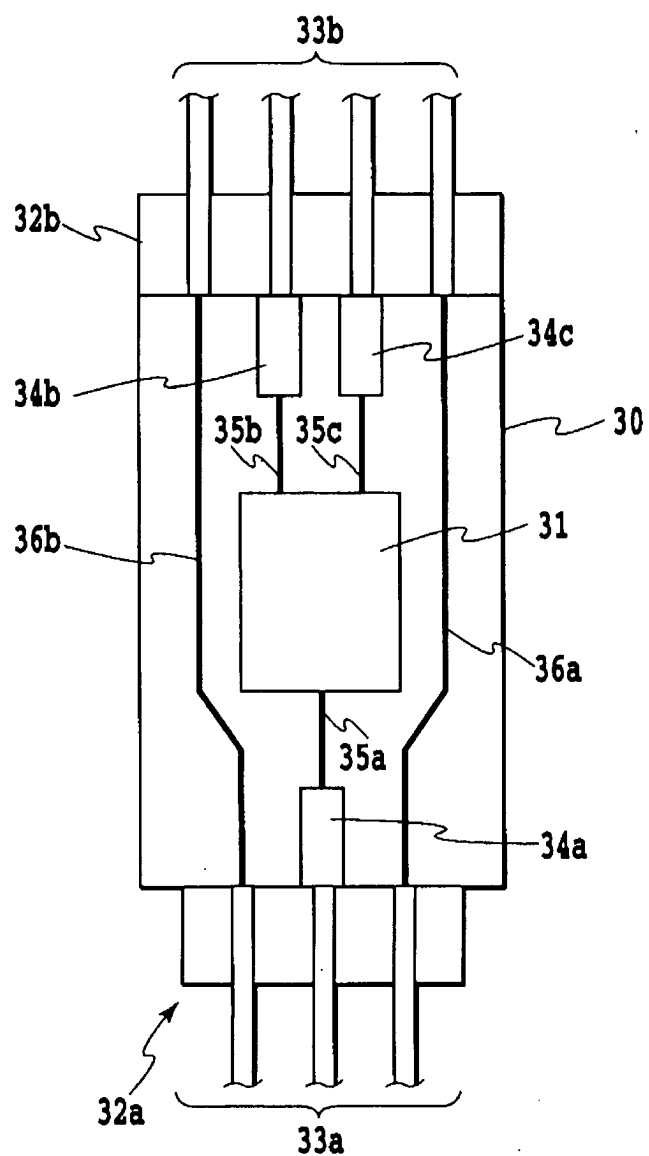
[図18]



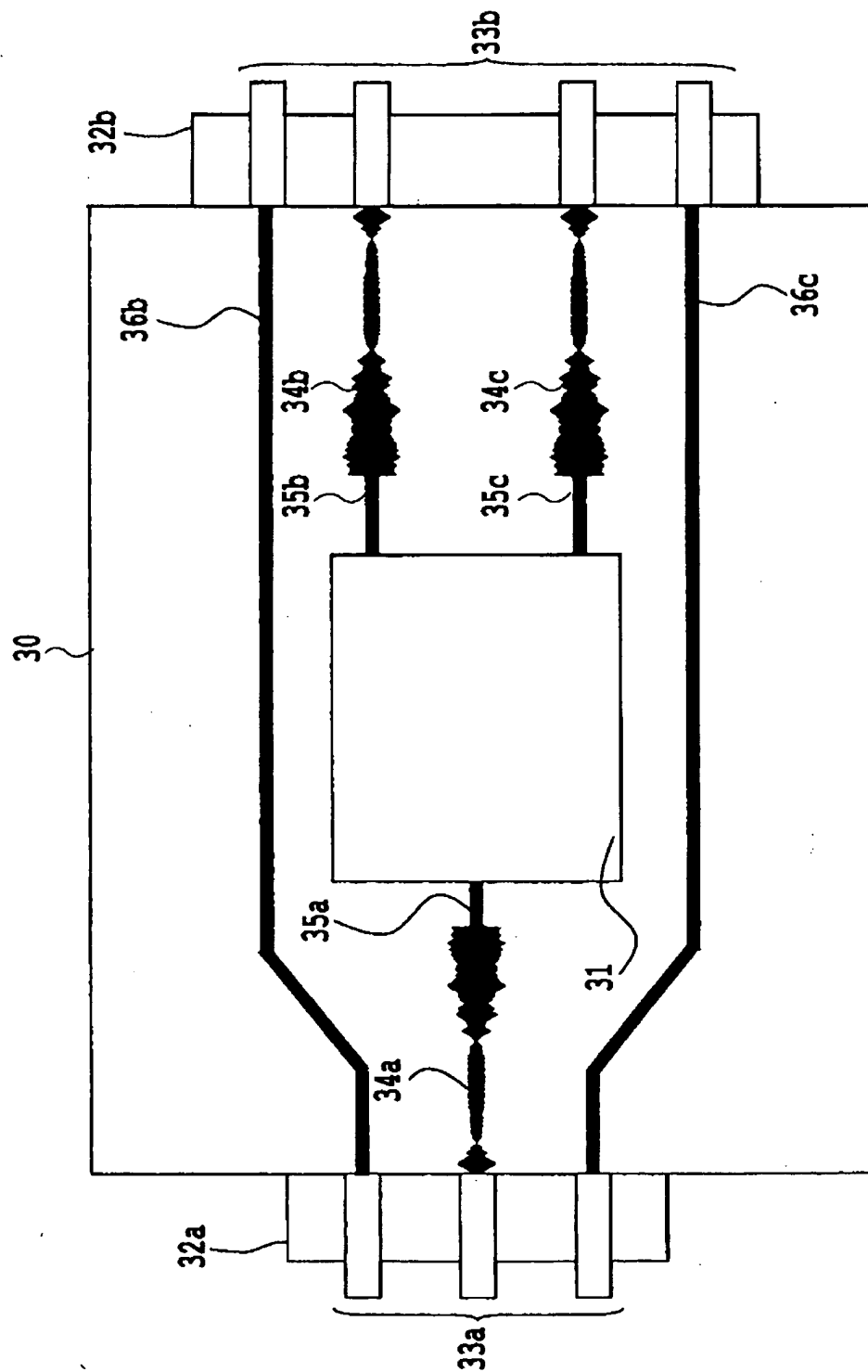
[図19]



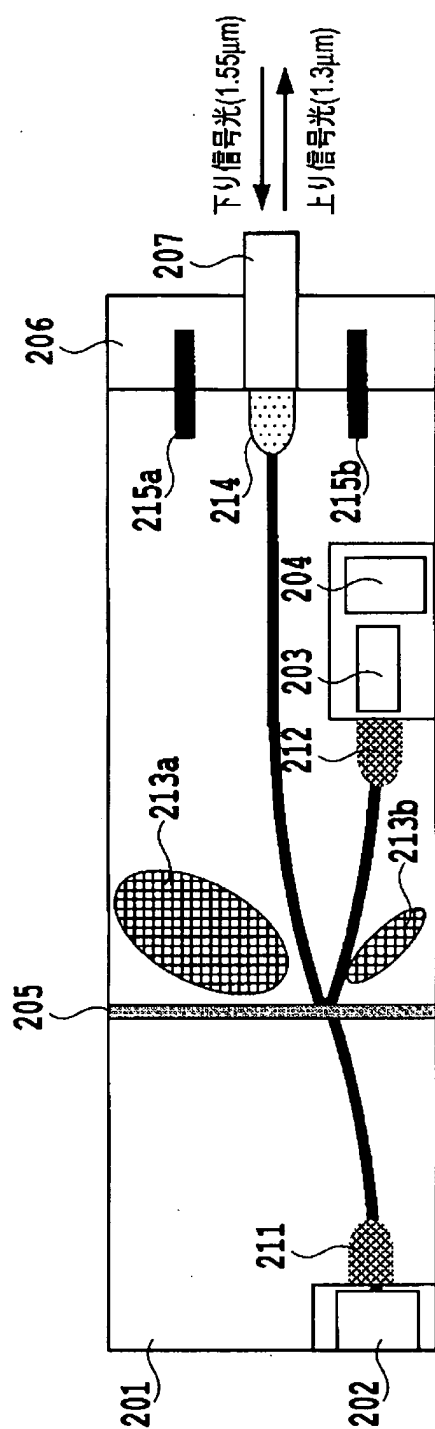
[図20]



[図21]



[図22]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/012186

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl.⁷ G02B6/122, 6/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl.⁷ G02B6/122, 6/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2005
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2005 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2005

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
JSTPlus (JOIS), IEEE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	Tetsuro YABU et al., "Atarashii Sekkeiho ni yoru Teisonshitsu Y bunki Hikari Doharo", The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers Gijutsu Kenkyu Hokoku, 12 May, 2000 (12.05.00), Vol.100, No.68, pages 65 to 72	1-10
A	JP 10-186184 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 14 July, 1998 (14.07.98), Fig. 2 (Family: none)	1-10
A	JP 2004-46021 A (Omron Corp.), 12 February, 2004 (12.02.04), Par. Nos. [0031] to [0075]; Figs. 4 to 31 (Family: none)	1-3



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
18 August, 2005 (18.08.05)

Date of mailing of the international search report
06 September, 2005 (06.09.05)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2005/012186

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 10-332966 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 18 December, 1998 (18.12.98), Par. No. [0016]; Fig. 1 (Family: none)	4-8, 10
A	JP 5-11135 A (The Furukawa Electric Co., Ltd.), 19 January, 1993 (19.01.93), Par. Nos. [0019] to [0031]; Fig. 1 (Family: none)	6, 8-10
A	JP 2002-31731 A (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 31 January, 2002 (31.01.02), Par. Nos. [0058] to [0063]; Fig. 17 & EP 0638829 A1 & EP 0690572 A2 & EP 0831349 A2 & EP 1083450 A1 & EP 1089101 A1 & US 5621837 A & US 5625312 A & US 6027254 A & US 6164836 A	7-10
A	JP 60-202553 A (NEC Corp.), 14 October, 1985 (14.10.85), Figs. 3, 6, 7 (Family: none)	9
P, Y	WO 2004/059354 A1 (Nippon Telegraph And Telephone Corp.), 15 July, 2004 (15.07.04), Full text; all drawings & JP 2004-219994 A & JP 2004-219996 A & JP 2004-219998 A	1-10

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B6/122, 6/26

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl.⁷ G02B6/122, 6/26

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2005年
日本国実用新案登録公報	1996-2005年
日本国登録実用新案公報	1994-2005年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus (JOIS)
IEEE

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	薮哲郎他, 新しい設計法による低損失Y分岐光導波路, 電子情報通信学会技術研究報告, 2000.05.12, Vol.100, No.68, p.65-72	1-10
A	JP 10-186184 A (富士ゼロックス株式会社) 1998.07.14, 【図2】 (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2004-46021 A (オムロン株式会社) 2004.02.12, 【0031】-【0075】、【図4】-【図31】 (ファミリーなし)	1-3

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

18.08.2005

国際調査報告の発送日

06.9.2005

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

後藤 昌夫

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

3313

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 10-332966 A (日本電信電話株式会社) 1998. 12. 18, 【0016】、【図1】等 (ファミリーなし)	4-8, 10
A	JP 5-11135 A (古河電気工業株式会社) 1993. 01. 19, 【0019】-【0031】、【図1】等 (ファミリーなし)	6, 8-10
A	JP 2002-31731 A (日本電信電話株式会社) 2002. 01. 31, 【0058】 - 【0063】、【図17】等 & EP 0638829 A1 & EP 0690572 A2 & EP 0831349 A2 & EP 1083450 A1 & EP 1089101 A1 & US 5621837 A & US 5625312 A & US 6027254 A & US 6164836 A	7-10
A	JP 60-202553 A (日本電気株式会社) 1985. 10. 14, 第3, 6, 7 図等 (ファミリーなし)	9
P, Y	WO 2004/059354 A1 (日本電信電話株式会社) 2004. 07. 15, 全文、全図 & JP 2004-219994 A & JP 2004-219996 A & JP 2004-219998 A	1-10

10/584 820

特許協力条約

発信人 日本国特許庁 (国際調査機関)

REC'D 09 SEP 2005

WIPO

PCT

代理人

谷 義一

様

あて名

〒107-0052

日本国東京都港区赤坂2丁目6-20

PCT

国際調査機関の見解書
(法施行規則第40条の2)
[PCT規則43の2.1]発送日
(日.月.年)

06.9.2005

出願人又は代理人

の書類記号 PF17609

今後の手続きについては、下記2を参照すること。

国際出願番号

PCT/JP2005/012186

国際出願日

(日.月.年) 01.07.2005

優先日

(日.月.年) 02.07.2004

国際特許分類 (IPC) Int.Cl.⁷ G02B6/122, 6/26

出願人 (氏名又は名称)

日本電信電話株式会社

1. この見解書は次の内容を含む。

- ☒ 第I欄 見解の基礎
☐ 第II欄 優先権
☐ 第III欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解の不成
☐ 第IV欄 発明の単一性の欠如
☒ 第V欄 PCT規則43の2.1(a)(i)に規定する新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についての見解、それを裏付けるための文献及び説明
☒ 第VI欄 ある種の引用文献
☐ 第VII欄 国際出願の不備
☐ 第VIII欄 国際出願に対する意見

2. 今後の手続き

国際予備審査の請求がされた場合は、出願人がこの国際調査機関とは異なる国際予備審査機関を選択し、かつ、その国際予備審査機関がPCT規則66.1の2(b)の規定に基づいて国際調査機関の見解書を国際予備審査機関の見解書とみなさない旨を国際事務局に通知していた場合を除いて、この見解書は国際予備審査機関の最初の見解書とみなされる。

この見解書が上記のように国際予備審査機関の見解書とみなされる場合、様式PCT/ISA/220を送付した日から3月又は優先日から22月のうちいずれか遅く満了する期限が経過するまでに、出願人は国際予備審査機関に、適当な場合は補正書とともに、答弁書を提出することができる。

さらなる選択肢は、様式PCT/ISA/220を参照すること。

3. さらなる詳細は、様式PCT/ISA/220の備考を参照すること。

見解書を作成した日

18.08.2005

名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

後藤 昌夫

電話番号 03-3581-1101 内線 3294

2X

3313

様式PCT/ISA/237 (表紙) (2004年1月)

第I欄 見解の基礎

1. この見解書は、下記に示す場合を除くほか、国際出願の言語を基礎として作成された。

- ☐ この見解書は、_____語による翻訳文を基礎として作成した。
それは国際調査のために提出されたPCT規則12.3及び23.1(b)にいう翻訳文の言語である。

2. この国際出願で開示されかつ請求の範囲に係る発明に不可欠なヌクレオチド又はアミノ酸配列に関して、以下に基づき見解書を作成した。

- a. タイプ ☐ 配列表
☐ 配列表に関連するテーブル
- b. フォーマット ☐ 書面
☐ コンピュータ読み取り可能な形式
- c. 提出時期 ☐ 出願時の国際出願に含まれる
☐ この国際出願と共にコンピュータ読み取り可能な形式により提出された
☐ 出願後に、調査のために、この国際調査機関に提出された

3. ☐ さらに、配列表又は配列表に関連するテーブルを提出した場合に、出願後に提出した配列若しくは追加して提出した配列が出願時に提出した配列と同一である旨、又は、出願時の開示を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

4. 補足意見：

第V欄 新規性、進歩性又は産業上の利用可能性についてのPCT規則43の2.1(a)(i)に定める見解、
それを裏付ける文献及び説明

1. 見解

新規性 (N)	請求の範囲 1-10	有
	請求の範囲	無
進歩性 (IS)	請求の範囲 1-10	有
	請求の範囲	無
産業上の利用可能性 (IA)	請求の範囲 1-10	有
	請求の範囲	無

2. 文献及び説明

請求の範囲 1-10に係る発明は、国際調査報告で引用したいずれの文献にも記載されておらず、当業者にとって自明なものでもない。

第VI欄 ある種の引用文献

1. ある種の公表された文書(PCT規則43の2.1及び70.10)

出願番号 特許番号	公知日 (日. 月. 年)	出願日 (日. 月. 年)	優先日 (有効な優先権の主張) (日. 月. 年)
WO 2004/059354 A1 「P, Y」	15. 07. 2004	25. 12. 2003	26. 12. 2002

2. 書面による開示以外の開示(PCT規則43の2.1及び70.9)

書面による開示以外の開示の種類	書面による開示以外の開示の日付 (日. 月. 年)	書面による開示以外の開示に言及している 書面の日付 (日. 月. 年)
-----------------	------------------------------	--